

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA NAVAL

PEDRO GUILHERME GORI CORDEIRO

ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A APLICAÇÃO DE MASSA PARA MINIMIZAR
VAZIOS EM CANTOS NA FABRICAÇÃO DE BARCOS EM PRFV

Joinville

2023

PEDRO GUILHERME GORI CORDEIRO

ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A APLICAÇÃO DE MASSA PARA MINIMIZAR
VAZIOS EM CANTOS NA FABRICAÇÃO DE BARCOS EM PRFV

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel no Curso
de Graduação em Engenharia Naval do
Centro Tecnológico de Joinville da
Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Ricardo Aurélio Quinhões
Pinto

Joinville

2023

PEDRO GUILHERME GORI CORDEIRO

ESTUDO EXPERIMENTAL SOBRE A APLICAÇÃO DE MASSA PARA MINIMIZAR
VAZIOS EM CANTOS NA FABRICAÇÃO DE BARCOS EM PRFV

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Naval, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 05 de dezembro de 2023.

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Ricardo Aurelio Quinhoes Pinto

Data: 10/12/2023 16:46:25-0300

CPF: ***.039.937-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Ricardo Aurélio Quinhões Pinto, Dr. Eng.
Orientador/Presidente

Prof. Luís Fernando Peres Calil, Dr.
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luiz Eduardo Bueno Minioli, Me.
Membro
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Pedro do passado pela determinação, persistência e obstinação. Quando rever este trabalho lembre-se de quão fértil foi essa aventura toda.

Agradeço imensamente aos meus pais Almir, Mariana pelas cobranças e pelo incansável apoio nesses anos de formação. Sou quem sou pelas raízes que possuo. Também à minha irmã Ana Beatriz, pelo companheirismo e, agora, ao Valentim, pela alegria que traz para todos nós.

À minha namorada Francieli pela ajuda e paciência para a conclusão dessa etapa. Sua companhia fez tudo acontecer de maneira mais leve.

Ao meu amigo William, pelos ensinamentos e pelas experiências práticas proporcionadas navegando.

Faço votos especiais de agradecimento aos meus grandes amigos de faculdade Angelo, Fernando e Igor. A ajuda de cada um foi essencial para chegar até aqui. Contém comigo!

Agradeço também à Raiza e à Keila pelas assistências prestadas para a elaboração deste trabalho.

Ao meu colega Jurandir, pela ajuda na execução desse trabalho, pelos ensinamentos diários e pelos dias divertidos trabalhando, que sua alegria do dia-a-dia esteja sempre presente onde é que estejamos.

Um agradecimento especial para os professores que fizeram parte dessa minha jornada, carrego comigo a paixão em ensinar que entregavam nas aulas.

Ao meu orientador Professor Ricardo Aurélio pelo incentivo na execução dessa etapa e pelas oportunidades geradas que foram de grande valia para a formação do meu caráter pessoal e profissional.

À banca examinadora composta de estimados professores da minha graduação. Ao Professor Minioli, meu primeiro professor da área específicas do curso, obrigado sinceramente por compartilhar seu conhecimento. Ao Professor Calil, reconheço e agradeço por ser sempre solícito e atencioso.

Reconheço também àqueles que não são citados diretamente aqui, mas que de alguma forma contribuíram para o que serei daqui para frente.

RESUMO

Este trabalho aborda o problema do surgimento de vazios em cantos na fase inicial da laminação de embarcações em PRFV, conhecida como skin coat. Os problemas causados pelo surgimento destes vazios, afetam não só a qualidade percebida, mas também, podem facilitar a absorção de umidade pelas camadas estruturais do PRFV, vindo a danificá-los e como precisam ser reparados, acabam agregando custos ao produto final. Com o propósito de minimizar o aparecimento destes vazios durante o processo de laminação do skin coat, o presente estudo propõe analisar a possibilidade de sua eliminação, com emprego de dois tipos de massas. Para esta finalidade, após a revisão da literatura de materiais e processo de compósitos, foram elaborados corpos de prova a fim de comparar diferentes processos para avaliar a incidência do defeito na interface gelcoat e skin coat, sendo o primeiro sem massa, como grupo de controle, o segundo com a aplicação de uma massa comercial, e por fim, o terceiro com uma massa fabricada, a partir de matriz poliéster, roving picado e sílica coloidal. Estes corpos de prova foram submetidos a testes visuais e de impacto para verificar a presença de vazios nas arestas. Dentre os testes realizados, a utilização da massa fabricada mostrou indícios de melhor resultado sendo então, das alternativas testadas, a mais eficiente na redução de vazios.

Palavras-chave: PRFV. Laminação manual. Skin Coat. Vazios. Massa.

ABSTRACT

This work addresses the issue of void formation in corners during the initial phase of fiberglass boat lamination, known as the skin coat. The hand lay-up manufacturing process was the first method developed and continues to be used in the plastics transformation industry, including the nautical sector. The problems caused by the appearance of voids not only affect perceived quality but can also facilitate moisture absorption by the structural layers of fiberglass, potentially damaging them. As these voids need to be repaired, they end up adding costs to the final product. With the aim of minimizing the occurrence of these voids during the skin coat lamination process, this study proposes to analyze the possibility of their elimination using two types of fillers. To achieve this goal, after reviewing the literature on composite materials and processes, test specimens were prepared to compare different processes and evaluate the incidence of the defect at the gelcoat-skin coat interface. The first group, serving as a control, had no filler, the second group had the application of a commercial filler, and finally, the third group had a filler made from polyester resin, chopped roving, and colloidal silica. These test specimens underwent visual and impact tests to check for the presence of voids at the edges. Among the tests conducted, the use of the manufactured filler showed signs of better results, making it the most efficient option among those tested for reducing voids.

Keywords: GRFP. Hand lay-up. Skin Coat. Voids. Putty.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da laminação manual.....	19
Figura 2 – Representação da reação química de polimerização do poliéster.....	22
Figura 3 – Diferentes tipos de reforços encontrados no mercado (a) Roving, (b) Manta e (c) Tecido.....	24
Figura 4 – Processo de fabricação das mantas.....	25
Figura 5 – Rolo de roving.....	26
Figura 6 – Roving picado.....	27
Figura 7 – Aplicação do gelcoat com pistola de pintura.....	29
Figura 8 – Representação do Skin Coat num laminado.....	30
Figura 9 – Representação esquemática da contração e print through.....	32
Figura 10 – Região propensa a formação de bolhas em peças laminadas.....	32
Figura 11 – Cantos comprometidos em embarcações devido à vazios entre camadas do laminado.....	33
Figura 12 – Esquema do processo do defeito de osmose.....	34
Figura 13 – Fluxograma com metodologia utilizada no trabalho.....	37
Figura 14 – Molde fornecido pelo estaleiro 2.....	38
Figura 15 – Seções utilizadas do molde para elaboração dos testes.....	39
Figura 16 – Principais ferramentas utilizadas no processo de laminação manual (a) Rolo de lã de carneiro, (b) Trincha, (c) Espátula e (d) Rolete.....	41
Figura 17 – Pesagem das mantas pré-cortadas.....	43
Figura 18 – Massa poliéster com fibra moída.....	44
Figura 19 – Aspecto da Massa B.....	44
Figura 20 – Aplicação da cera desmoldante.....	45
Figura 21 – Testes de tempo de gel com (a) Gelcoat (b) Resina.....	46
Figura 22 – Compactação da laminação com rolete.....	47
Figura 23 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 1.....	47
Figura 24 – Aplicação da massa união com fibra moída da EGC Fiberglass.....	48
Figura 25 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 2.....	49
Figura 26 – Aplicação da Massa B.....	50
Figura 27 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 3.....	51
Figura 28 – Identificação visual de potenciais bolhas nas arestas através da luz. (a) CP II - processo 1, (b) CP II - processo 2, (c) CP I - processo 3.....	52

Figura 29 – Corpo de prova I, processo 1.....	53
Figura 30 – Corpo de prova II, processo 1.....	54
Figura 31 – Corpo de prova III, processo 1.....	54
Figura 32 – Corpo de prova I, processo 2.....	55
Figura 33 – Corpo de prova II, processo 2.....	56
Figura 34 – Corpo de prova III, processo 2.....	56
Figura 35 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III, processo 3.....	57

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico - Análise quantitativa do teste visual.....	58
Gráfico - Análise quantitativa do teste de impacto.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparativo entre principais fibras utilizadas em reforços.....	24
Quadro 2 – Plano de laminação dos experimentos elaborados.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CP – Corpo de Prova

CTJ - Centro Tecnológico de Joinville

FV – Fibra de Vidro

GFRP – Glass Fiber Reinforced Plastics

MEKP - Peróxido de Metiletil Cetona

PIB – Produto Interno Bruto

PRFV – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro

SC – Santa Catarina

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UV – Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS.....	15
1.1.1. Objetivo Geral.....	15
1.1.2. Objetivos Específicos.....	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1. PROCESSO DE LAMINAÇÃO MANUAL.....	17
2.2. MATERIAIS COMPÓSITOS.....	19
2.1.1. Matriz Polimérica.....	21
2.1.2. Reforços.....	23
2.1.2.1. Mantas.....	24
2.1.2.2. Roving.....	25
2.1.2.3. Massa.....	27
2.1.3. Gelcoat.....	28
2.1.4. Skin Coat.....	30
2.3. RETRABALHO.....	34
2.3.1. O retrabalho pela filosofia LEAN.....	35
3. METODOLOGIA	37
3.1. MATERIAIS UTILIZADOS.....	40
4. FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	43
4.1. PROCESSO 1.....	45
4.2. PROCESSO 2.....	48
4.3. PROCESSO 3.....	49
5. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA	52
5.1. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 1.....	53
5.2. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 2.....	54
5.3. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 3.....	57
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
7. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	64
ANEXO A – CERA DESMOLDANTE	66
ANEXO B – RESINA POLIÉSTER	67
ANEXO C – GELCOAT	68

ANEXO D – MASSA A.....	69
ANEXO E – AEROSIL.....	70

1. INTRODUÇÃO

Com milhares de quilômetros de vias navegáveis e clima subtropical, o Brasil tem despertado atenção de um grande número de empreendedores nacionais e marcas internacionais do ramo náutico, que passaram a ver no país um mercado de alto potencial de ascensão.

Somente no ano de 2023, os três principais eventos nacionais da marca Boat Show, voltados exclusivamente para o setor náutico, geraram mais de R\$1 bilhão em negócios e reuniram milhares de pessoas interessadas no tema. Para além da indústria, o turismo náutico no Brasil já representa 0,12% do PIB (Produto Interno Bruto), e juntos, contemplam um potencial de crescimento econômico, podendo gerar mais de 120 mil empregos diretos em um cenário futuro. (ACOBAR, 2022).

Atualmente o Brasil possui cerca de 120 estaleiros responsáveis pela produção de embarcações de esporte e recreio que alimentam o mercado nacional e internacional. Sendo expressivo o número de exportações para países como Itália, Estados Unidos, China e Alemanha, trazendo impactos positivos ao setor econômico do país. Estima-se que até o ano de 2025, a produção brasileira deva abranger o total de 8,6 mil embarcações recreativas por ano (ACOBAR, 2023).

Apesar do significativo volume de embarcações produzidas em solo brasileiro, a indústria náutica nacional segue dependente de serviços executados de forma manual na produção em PRFV (Plástico Reforçado com Fibra de Vidro). O uso desse material na fabricação de barcos está associado à relação resistência/peso e às versatilidades de aplicações, além de não demandar o emprego de grandes tecnologias no processo de fabricação.

Nas regiões sul e sudeste, que representam a maior concentração de estaleiros do país (ACOBAR, 2012), a maioria das embarcações são produzidas ainda com métodos majoritariamente manuais de laminação devido ao baixo custo comparado a outros métodos. Ou seja, a qualidade final do produto está também dependente das habilidades dos profissionais laminadores (Nasseh, 2011).

Usualmente, as primeiras camadas do processo de fabricação de embarcações com PRFV, são destinadas a funcionar como barreira antiosmose e prevenção ao reflexo da trama da fibra de vidro na camada exterior do gelcoat, esta primeira camada é conhecida como skin coat. O skin coat deve ser aplicado

manualmente logo após o gelcoat. O gelcoat, é na verdade, uma resina termofixa misturada com cargas minerais que serve como revestimento de acabamento, e barreira protetora, do laminado (Nasseh, 2011).

O processamento destas etapas é algo, que ainda envolve trabalho artesanal. Fatores como geometria da peça, processo de laminação, materiais empregados, condições de trabalho e, sobretudo, as habilidades do profissional laminador, irão determinar a qualidade e o acabamento do produto final. Mesmo que manufaturas sejam tratadas sob as mesmas circunstâncias, as variáveis podem e irão influenciar no resultado, dificultando assim uma reprodutibilidade da peça fabricada.

A execução falha das etapas iniciais (aplicação do gel coat e do skin coat) pode gerar transtornos devido a defeitos como o print through, que se trata da impressão de fibras, a osmose, que é uma consequência devido a permeabilidade de umidade através da camada insuficiente, e por fim, vazios, os quais são tratados nesse trabalho, e que representam lacunas no material que diminuem a integridade do laminado (Nasseh, 2008).

Vazios no material, ou bolhas como também são conhecidos, trazem prejuízos para a indústria náutica, uma vez que configuram uma redução da qualidade da vida útil da peça, e podem causar custo adicional para reparos, que são absorvidos pelos fabricantes. Portanto, imperícias por parte do profissional laminador podem resultar em peças com defeito, em especial, em cantos devido à uma certa dificuldade do material assentar-se corretamente, criando regiões vazias. Esses locais ocos se tornam ocasionalmente fragilizados e quebradiços devido ao pouco ou nenhum reforço existente na região pontual afetada (Pinto, 2022).

Diante desse contexto, este trabalho é destinado a experimentar a aplicação de massas em cantos entre a interface do gelcoat com o skin coat, com a finalidade de preencher os espaços com maiores susceptibilidades de surgimentos de vazios.

O intuito é avaliar qual dos dois tipos de massas avaliados apresenta os melhores resultados na minimização da incidência de vazios nos cantos muito angulados de peças fabricadas em PRFV.

Para isso, foram fabricados CP (Corpos de prova) idênticos, utilizando diferentes abordagens, sendo um sem massa, considerado grupo de controle e dois com aplicação de massas distintas, uma comercial e outra especialmente elaborada para os experimentos, ambas utilizando materiais comumente aplicados na

fabricação de barcos em compósitos de plástico reforçado com fibra de vidro - PRFV.

Posteriormente, os corpos de prova passaram por testes para identificar o possível surgimento de vazios ou bolhas nos cantos. Ao final do experimento, os CP foram comparados para compreender qual demonstrou maior redução de defeito nos cantos das peças.

1.1. OBJETIVOS

Para minimizar os defeitos provenientes do processo de laminação do skin coat e suas consequências para o fabricante, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar experimentalmente o impacto do uso de massa entre as camadas de gelcoat e skin coat com a finalidade de mitigar vazios em cantos na laminação de barcos em PRFV.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar na literatura fatores que estão relacionados com a ocorrência de vazios no processo manual de laminação;
- Caracterizar materiais e processos utilizados nas etapas iniciais de laminação;
- Elaborar corpos de prova empregando materiais e processos caracterizados;
- Verificar a constatação de vazios em cantos entre as camadas de gelcoat e o skin coat;
- Comparar e avaliar resultados dos testes observando a redução de vazios em cantos durante os processos iniciais de laminação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Será abordado neste capítulo a fundamentação teórica que sustenta a realização desse trabalho. A estrutura segue uma ordem lógica que engloba aspectos direcionados à problemática. Inicialmente, será abordado o processo de laminação manual, na sequência serão e explorados os materiais compósitos bem como seus componentes e, por fim, é exposta a questão do retrabalho.

2.1. PROCESSO DE LAMINAÇÃO MANUAL

Ao contrário de abordagens construtivas convencionais, em que são utilizados materiais processados para posterior montagem, os materiais compósitos se distinguem por incorporar o processo de construção simultaneamente a própria fabricação do material.

Eleger o método de fabricação que mais se adequa aos requisitos de projeto do componente, é indispensável para garantir que a execução ocorra conforme planejado. Aspectos como tamanho, geometria, quantidade e, principalmente, qualidade necessária do produto final, como a relação matriz/reforço, desempenham um papel determinante na escolha do método mais adequado. Além disso, investimento inicial, know-how e custo de produção são outros fatores decisivos para implementação do processo de manufatura (Peterhans, 2013).

Processos de fabricação com o emprego de PRFV apresentam variações de métodos que competem entre si pela eficiência, resistência, velocidade de construção e custo do produto (Nasseh, 2008). Existem diversos métodos que apresentam vantagens e desvantagens quando comparados. Outros métodos mais avançados que empregam o uso de tecnologias, fogem do escopo deste trabalho, pois a elaboração do skin coat segue sendo feita de forma manual.

Dentre os diversos processos de laminação, a laminação manual (hand lay-up) apresenta simplicidade na execução, baixo custo de implementação e flexibilidade geométrica. Embora soe como um processo precário frente a outros, a laminação manual atende a resultados satisfatórios quando bem executado (Nasseh, 2008).

O processo denominado de laminação manual consiste numa operação simples de modelagem de peças em compósitos. Foi o primeiro método

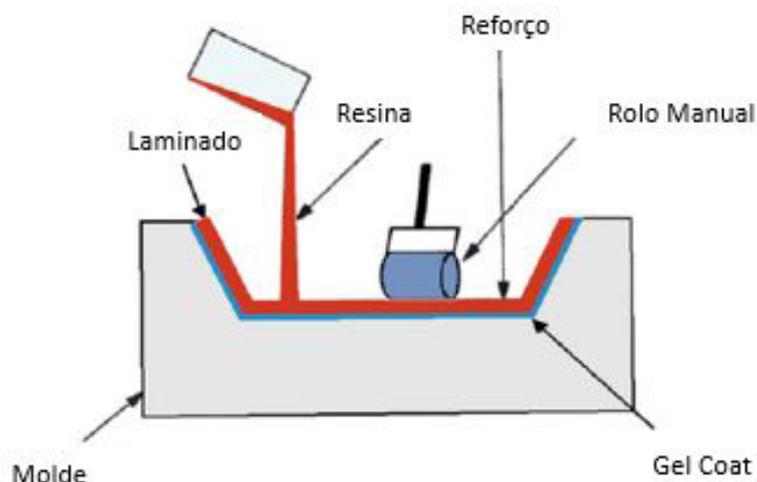
desenvolvido no início das aplicações de PRFV e segue sendo empregada até os dias de hoje (ABMACO, 2009).

Essa mesma técnica, também conhecida como hand lay-up, envolve a combinação de reforços de fibras sobre um molde. O reforço é disposto na área a ser laminada, para em seguida ser impregnada pela resina. Esse processo é repetido por sucessivas camadas até produzir a peça com a espessura desejada (Rosato, 1982).

A técnica manual de laminação é uma abordagem que dispensa a necessidade de investimento em equipamentos complexos, dependendo apenas de itens auxiliares como trinchas, rolos, roletes, espátulas e recipientes para preparação da matriz, além dos EPIs. Entretanto, vale ressaltar que a laminação manual exige elevada incidência de mão-de-obra, baixa produtividade e entrega peças acabadas somente de um lado: a face em contato com o molde. Além disso, a qualidade final do produto é dependente da habilidade do laminador. (Marinucci, 2011)

O procedimento se inicia pela preparação do molde, que recebe o elemento desmoldante, atuando como facilitador na etapa de desmoldagem, para então receber a pintura com gelcoat. Após parcial cura do gel, no momento em que chega a ponto de toque, ou seja, quando ao tocar a região pintada a peça não marca, se inicia a laminação manual propriamente dita em que se encharca o reforço com resina inicializada. Recomenda-se umectar previamente a peça para então dispor o reforço e assim facilitar sua impregnação com o auxílio de pincéis ou rolos e posterior compactação com rolete. A etapa é dada como completa quando a peça está sem regiões secas e sem bolhas aparentes sob o reforço. (Nasseh, 2011). A Figura 15 representa o processo de laminação manual.

Figura 1 – Representação da laminação manual.



Fonte: Adaptado de Chawla (2019, p.141).

São necessários cuidados para a laminação de uma peça com qualidade, como por exemplo sequência de laminação e laminação de detalhes da peça. Camadas laminadas consecutivamente podem prejudicar as anteriores devido a exotermia da reação química das camadas laminadas antes. Além disso, geometrias complexas demandam um cuidado maior do laminador pois cantos e quinas tendem a acumular bolhas de ar que causam uma redução na resistência da peça. (Nasseh, 2008).

Para minimizar bolhas em locais de geometria complexa, como em regiões com ângulos, é conveniente utilizar massas estruturais, pois são resistentes e maleáveis, capaz de preencher possíveis lacunas de material. Essas massas são fabricadas ou comercializadas prontas e utilizam de conceitos de materiais compósitos, conforme abordado na Seção 2.2, para garantir a devida resistência nas regiões em que são aplicadas.

2.2. MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos são formados pela combinação de dois ou mais materiais a fim de alcançar características e propriedades específicas. Essas distintas fases podem ser identificáveis e não se misturam, no entanto, atuam juntas quando solicitadas por um esforço mecânico (Rosato, 1982).

O sistema formado pela composição resulta em um desempenho inatingível pelos constituintes quando atuam de maneira individualizada. Ademais, a caracterização de um material compósito deve satisfazer as seguintes premissas: Fabricado (Com exceção dos compósitos naturais); consistir em duas ou mais fases física e/ou quimicamente diferentes, dispostas organizadas ou distribuídas com uma interface de separação; possuir características que não são representadas por nenhum dos componentes isoladamente (Chawla, 2019). A Figura 1, ilustra as fases contribuintes do material compósito.

Figura 2 - Fases constituintes do material compósito.



Fonte: Adaptado Mazumdar (2002, p.24)

Com o chamado princípio da ação combinada das fases componentes, pode-se desenvolver propriedades de interesse alcançáveis através da combinação racional e apropriada dos constituintes. Dessa maneira, as propriedades finais dos compósitos são tratadas como resultado das propriedades das fases coexistentes, das quantidades relativas, da maneira como interagem e das geometrias da fase de reforço (Callister, 2016).

As fases constituintes de um compósito são classificadas em reforço e matriz, desempenhando funções distintas e complementares. A fase denominada reforço é responsável por garantir a resistência mecânica do material compósito, sendo frequentemente composta por materiais de propriedades superiores. Por outro lado, a matriz desempenha o papel de transferir as cargas aplicadas, oferecendo suporte estrutural e proteção à fase de reforço. Ela atua como um ambiente que mantém o reforço no lugar, distribuindo as cargas mecânicas e protegendo-o contra agentes externos (Daniel; Ishay, 2006).

Há uma categorização dos materiais compósitos que está dividido em quatro grandes grupos distintos, levando em consideração suas características. Em

primeiro lugar, estão os compósitos reforçados com partículas, nos quais partículas que, possuem dimensões iguais em todas as direções, são dispersas na matriz para conferir propriedades específicas ao material. Em seguida, estão os compósitos com fibras, em que as fibras com grande razão comprimento/diâmetro atuam como reforço na matriz, proporcionando resistência e rigidez direcionada. Já os compósitos estruturais formam outro grupo, caracterizados por seu uso em aplicações que demandam alta performance, sendo essenciais para situações que requerem resistência e leveza. Por fim, os nanocompósitos compreendem materiais compostos por nanoestruturas que funcionam como reforço na matriz, apresentando propriedades avançadas devido ao tamanho diminuto das partículas envolvidas (Callister, 2016). No presente trabalho são abordados compósitos reforçados com partícula e compósitos reforçados com fibras.

No âmbito dos materiais compósitos, aqueles de maior aplicação são os que a fase dispersa assume a forma de fibra. Os objetivos ao projetar compósitos reforçados com fibras frequentemente incluem alcançar alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso (Mazumdar, 2002).

2.1.1. Matriz Polimérica

Sob a categoria de materiais sintéticos, a matriz polimérica desempenha um fator importante no projeto de laminados. Esta fase constituinte do material compósito tem como função distribuir os esforços para as fibras, moldar a peça e, adicionalmente, proteger da ação do ambiente externo (Callister, 2016).

Frequentemente utilizadas com aplicações estruturais estão as resinas poliéster, estervilínicas e epóxi. Todas essas, dividem o fato de serem termofixas, ou seja, o aumento de temperatura não as funde, mas degrada. Isso deve-se à natureza das ligações cruzadas estabelecidas no processo de cura (Nasseh, 2011).

As resinas citadas variam em formulação e propriedades. A escolha da matriz polimérica mais adequada a ser empregada no processo leva em consideração características requeridas, tais como: performance, resistência química e mecânica, retardante de chamas, flexibilidade e alongamento (Moreira, 2008).

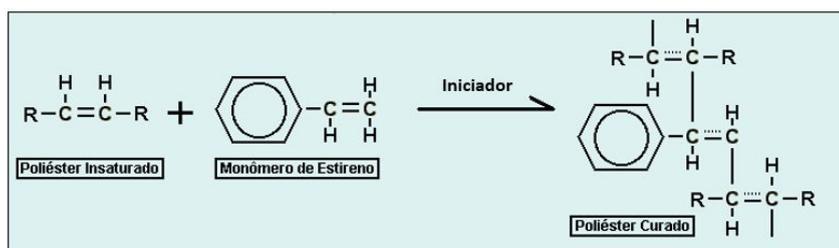
Enquanto a resina poliéster se destaca pelo baixo custo e pela resistência à corrosão em aplicações industriais e marítimas, a estervilínica apresenta elevada

resistência química e propriedades dielétricas, adequadas para aplicações mais específicas. Já a resina epóxi, sobressai pela aderência, durabilidade e resistência a altas temperaturas, sendo ideal para aplicações de alta performance (Nasseh, 2011).

A reação dessas ligações, ocorre quando o agente iniciador - peróxido orgânico, calor ou radiação – interage com a molécula da matriz e as rompe. Posteriormente, como parte do processo químico/físico da reação, a molécula reestrutura as ligações, porém, agora, de maneira aleatória e tridimensional. Isso culmina na formação de uma rede reticulada de características termoestáveis, tornando o resultado final irreversível (Moreira, 2008).

Representado na Figura 2, está a reação de polimerização da resina poliéster.

Figura 2 – Representação da reação química de polimerização do poliéster.



Fonte: Adaptado de Silaex (2018)

Características de processamento e manuseio determinam, para cada projeto, um processo compatível com a matriz selecionada a fim de alcançar resultados esperados. A matriz polimérica apresenta atributos os quais devem ser considerados na hora da sua seleção, como: viscosidade, que influencia diretamente a capacidade de umectação do reforço; gel time, que determina o tempo disponível para que essa impregnação ocorra adequadamente evitando regiões secas; pico exotérmico, que controla a velocidade da polimerização devido a reação química; encolhimento, que relaciona a retração do material no processo de cura e tixotropia, que afeta a capacidade da matriz de não escorrer em superfícies inclinadas (Nasseh, 2011).

Dentre a gama de matrizes poliméricas, está a resina poliéster insaturada que é produto de uma reação química entre um glicol e um diácido junto a um monômero reativo. Sua designação como "insaturada" se deve à presença de ligações duplas não saturadas em sua estrutura molecular (Moreira, 2008).

Após a adição do iniciador, geralmente peróxido orgânico, inicia-se o processo de polimerização da resina líquida, transformando-a em um material rígido. Durante esse processo, ocorrem duas etapas bem definidas: o tempo de gel, também conhecido como gel time, e o tempo de cura. O tempo de gel refere-se ao momento em que a resina muda sua viscosidade, apresentando aspecto gelatinoso, enquanto o tempo de cura é quando a resina atinge seu estágio final de polimerização e conseqüente completo endurecimento. Dessa forma, o período hábil para trabalhar com a resina é o intervalo que antecede o tempo de gel, também conhecido como gel time. (Nasseh, 2008).

Popularmente o termo catalisador é frequentemente utilizado para se referir ao iniciador de reações em polímeros termofixos. Entretanto, é importante ressaltar que o papel desempenhado pelo iniciador não se limita apenas a acelerar a reação. O iniciador atua inicialmente desencadeando e facilitando a reação química de polimerização, sendo parte integrante do processo.

Há uma quantidade adequada de iniciador a ser adicionada na resina para que a polimerização ocorra de maneira correta, com variação de 1 a 3% a depender das condições de laminação e recomendações do fabricante. Dosagens inferiores à recomendada acarretará em cura incompleta, enquanto dosagens excedentes reduzirão drasticamente o tempo de trabalho, além de ocasionar outros problemas de produção e segurança (Nasseh, 2011). Portanto, negligenciar a correta proporção poderá causar prejuízos ao produto final causando defeitos de diferentes tipos.

2.1.2. Reforços

A fase dos reforços é responsável por fornecer a maior resistência e rigidez necessária ao compósito. Portanto, a capacidade estrutural desse elemento está associada à sua forma e a propriedade ortotrópica, ou seja, à exibição de propriedades específicas de resistência e módulo de elasticidade na direção da fibra (Orro, 2008), utilizando dessas características componentes estruturais são concebidos para serem solicitados mecanicamente, suportar esforços e seus materiais constituintes devem assegurar os carregamentos estabelecidos em projeto. Com essa finalidade, destacam-se na fabricação dos compósitos as fibras de vidro, aramida e de carbono (Marinucci, 2011).

O desempenho das peças produzidas em material compósito é substancialmente influenciado pelo tipo, disposição, orientação e concentração do reforço que o compõem. Sendo a continuidade das fibras um fator relevante no incremento da resistência do laminado (Callister, 2016).

No Quadro 1, é apresentado um comparativo entre os materiais de reforço mais empregados na indústria de transformação de plástico.

Quadro 1 – Comparativo entre principais fibras utilizadas em reforços.

CARACTERÍSTICA	F. Vidro	F. Aramida	F. Carbono
Modulo de Elasticidade	Inferior	Intermediário	Superior
Resistencia ao impacto	Intermediário	Superior	Inferior
Custo	Inferior	Intermediário	Superior
Resistência à compressão	Intermediário	Inferior	Superior
Densidade	Superior	Intermediário	Inferior

Fonte: Adaptado de Nasseh (2011, p. 73)

Dentre as apresentadas, a fibra de vidro é a mais utilizada na indústria de transformação de plásticos. A justificativa dessa alta empregabilidade está no fácil manuseio, nas diferentes formas comercializadas, na suficiente resistência mecânica para a maioria das aplicações e, principalmente, no seu custo mais acessível.

No mercado, os reforços de fibra de vidro são encontrados na forma de roving, manta e tecidos tramados conforme serão apresentados nas seções a seguir. Todavia, como o tecido não é usado na fabricação de skin coat, não será dado aprofundamento a este produto neste trabalho.

A seguir, são apresentados na Figura 3 as formas comerciais de reforço.

Figura 3 – Diferentes tipos de reforços encontrados no mercado (a) Roving, (b) Manta e (c) Tecido.

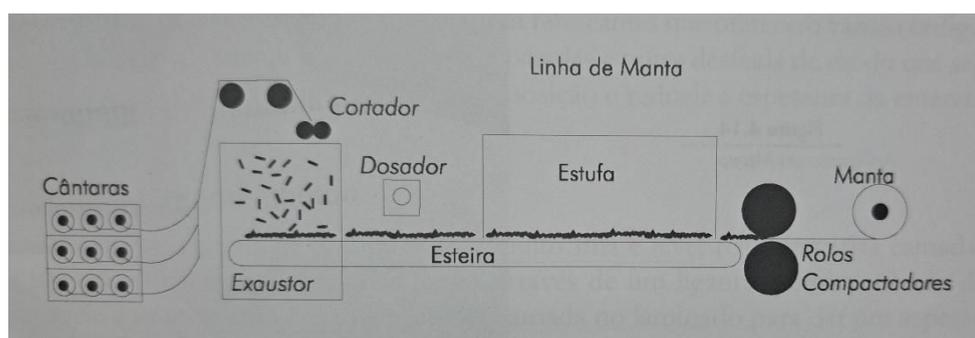


Fonte: Adaptado de Percilglass (2019).

2.1.2.1. Mantas

As mantas, produtos resultantes da deposição aleatória de pequenos filamentos de fibra de vidro sobre uma superfície, são revestidas por um ligante químico, conhecido como Binder. Esse componente desempenha um papel relevante na união dos filamentos, garantindo a maleabilidade adequada da manta e a integridade dos filamentos (Orro, 2008). Durante o processo de fabricação, o Binder se dissolve quando em contato com a resina poliéster. No entanto, quantidades inadequadas desse ligante podem acarretar prejuízos no assentamento do reforço (Nasseh, 2011). A Figura 4, apresenta o processo de fabricação da manta.

Figura 4 – Processo de fabricação das mantas



Fonte: Nasseh (2011, p.77)

Existem no mercado mantas com diferentes gramaturas, que proporcionam diferentes concentrações de filamentos distribuídos de forma homogênea. A escolha entre elas dependerá da finalidade desejada, uma vez que as mantas mais pesadas absorvem uma quantidade maior de resina, são menos maleáveis e tornam o processo de trabalho mais complexo. Em contrapartida, as mantas de menor gramatura possuem maior capacidade de se moldar conforme a peça a ser fabricada, às custas de oferecerem níveis inferiores de reforço (Nasseh, 2011).

As mantas se distinguem por apresentar um comportamento isotrópico, o que significa que quando solicitadas mecanicamente desenvolvem tensões semelhantes em todas as direções, diferenciando-se assim de outros tipos de reforços. Dessa maneira, não há necessidade de preocupação com a orientação do material na hora de depositá-lo sobre o molde (Orro, 2008).

2.1.2.2. Roving

Como comentado na seção de reforços, o roving é uma variante comercial das fibras de vidro contínuas, composta por filamentos paralelos e sem torção, agrupados para formar uma mecha que é enrolada em um cilindro. Essa configuração oferece flexibilidade no controle direcional, tornando-o especialmente adequado para aplicações na indústria de compósitos devido às suas características ortotrópicas. Isso permite reforçar especificamente as direções desejadas nos componentes fabricados com esse material.

Devido à sua maleabilidade física e à sua ortotropia, o roving oferece um reforço eficaz exatamente onde necessário. Essas propriedades do roving se revelam como elementos fundamentais na obtenção de níveis aprimorados de durabilidade e resistência em diversas aplicações industriais (Orro, 2008). Além disso, a fibra de vidro na forma de roving é um subproduto básico para a produção de outras formas comerciais de reforços, como é o caso das mantas e dos tecidos. A Figura 5 a seguir, mostra um rolo de roving.

Figura 5 – Rolo de roving.



Fonte: Adaptado de Redelease (2021)

O roving é empregado de forma singular como fechos para melhorar a resistência em locais de concentração de tensão, além disso é utilizado em processos específicos de fabricação. Como, por exemplo, o processo de Spray-up,

no qual o material é picotado de maneira controlada e aspergido com resina catalisada sobre a peça a ser fabricada, e o processo de Enrolamento Filamentar, no qual o material é desbobinado, impregnado com resina também catalisada e, em seguida, rebobinado diretamente para outra peça cilíndrica a ser fabricada (Orro, 2008). Além dessas aplicações, o roving tem uma utilização mais prática, em que, a fim de fornecer resistência ao composto, é picado e adicionado à matriz. Dessa forma, o reforço contínuo é incorporado à própria resina e se encontra de maneira dispersa atuando na distribuição linear dos esforços. Na Figura 6, é apresentada a forma do roving picado com 3 mm de comprimento.

Figura 6 – Roving picado.



Fonte: Autor (2023)

2.1.2.3. Massa

As massas são oriundas da mistura consciente de resina e um espessante (Nasseh, 2011). Além disso, através da adição de cargas minerais é possível agregar melhorias nas características físicas e químicas do produto final. Em favor da mistura, pode-se citar como vantagem aumento da resistência mecânica, redução da contração e redução de custo. Em contrapartida acontece um aumento de densidade e redução do alongamento à ruptura (Moreira, 2008)

A depender da etapa em que será aplicada, ou o que se deseja da massa, certos complementos se mostram mais interessantes que outros, pois agregam ao produto final características desejadas para certos empregos. De maneira geral, as propriedades das fases coexistentes, as quantidades relativas, a interface e a

interação das fases, além das geometrias da fase de reforço determinam as características finais dos compósitos (Callister, 2016).

A finalidade de aplicação da massa, determinará a escolha do tipo e quantidade de componente mais adequado. Por conta disso, deve ser levado em consideração características físico/químicas dos materiais adicionados a fim de conferir as propriedades requeridas (Santos, 2008).

Dentre os elementos destinados a conferir reforço a massa, com o objetivo de atribuir um aumento da resistência e rigidez, pode-se citar fibra de vidro moída ou picada (roving picado) e micro esfera de vidro Nasseh (2008), além de filamentos contínuos de roving, dispostos em feixes, destinados a conferir maior rigidez em grandes áreas de aplicação de massa (Pinto, 2022).

Além destes, pode-se citar as cargas que são incorporadas a massa para alterar certas características, como é o caso da adição de sílica coloidal, que tem como nomes comerciais Aerosil ® e Carbosil ®. O acréscimo deste componente tem como objetivo incrementar a viscosidade da resina que está sendo misturada e por consequência, a melhoria da tixotropia (Nasseh, 2008).

É usual a preparação da receita própria com quantidade de materiais que atendam as características requeridas a partir do controle da quantidade dos componentes (Nasseh, 2011).

2.1.3. Gelcoat

O insumo chamado de gelcoat é fabricado a partir de resinas, geralmente poliéster, misturadas a outros componentes como pigmentos, aditivos e cargas especiais. Cada um dos componentes contribui a fim de gerar um produto que atenda às necessidades do processo e da aplicação final para qual foi concebido. Não existe uma única formulação para a fabricação de gelcoat, entretanto, a mais adequada confere boa aplicabilidade, resistência mecânica requerida além de bom acabamento (Moreira, 2008).

Presente na camada mais externa do laminado, o gelcoat é responsável por proteger a peça contra deterioração de danos externos, causados por raios UV (ultravioleta), abrasão, impactos e ataques químicos, além disso, proporciona acabamento estético de qualidade (Nasseh, 2011). Embora sua participação em

volume não seja tão expressiva na fabricação de laminados, quando comparado aos outros insumos, o gelcoat tem significativa importância na qualidade percebida pelo consumidor (Moreira, 2008).

Na prática, o ideal é alcançar um filme de gel de aproximadamente 0,6 mm, espessuras superiores ou inferiores a esta não atendem aos requisitos de empregabilidade do insumo e eventualmente geram prejuízos à peça. Além disso, fatores como temperatura do molde e proporção de iniciador, demandam atenção para evitar problemas na superfície da peça. Esses defeitos começam como defeitos estéticos e com o passar do tempo possivelmente se transformarão em problemas de caráter maior afetando até a estrutura do laminado (Nasseh, 2008).

Aplicações fora da faixa recomendada devido a negligências trazem prejuízos ao laminado que vão desde trincas até vulnerabilidade das camadas subsequentes. Diversos podem ser os defeitos causados pelo mau uso do gelcoat, que quase sempre podem ser recuperados. Porém, demandam do transformador custos que são mais facilmente reduzidos com boas práticas na aplicação (Peterhans, 2013).

A aplicação do gelcoat pode ser realizada por métodos tradicionais ou mais avançados, em que cada um apresenta suas vantagens e desvantagens. Enquanto a aplicação tradicional com pincel ou rolo oferece simplicidade e acessibilidade a áreas de difícil acesso, também permitem a cobertura de áreas pequenas e detalhadas, sua desvantagem reside na produtividade, na dificuldade de alcançar uma espessura uniforme e no maior potencial para deixar marcas ao longo da superfície. Por outro lado, o uso de gelcoateadeira ou pistolas de pintura com gelcoat proporciona uma cobertura mais homogênea e produtiva, ideal para áreas maiores. Porém, pode apresentar limitações em espaços reduzidos devido ao ângulo de aspersão da pistola e, principalmente, demandar maior perícia do operador (Nasseh, 2008).

Portanto, a escolha do método de aplicação dependerá das necessidades específicas do projeto, equilibrando os benefícios de cada técnica com as limitações inerentes, visando alcançar os melhores resultados estéticos e funcionais. A Figura 7, representa a aplicação do gelcoat no molde utilizando a pistola de pintura.

Figura 7 – Aplicação do gelcoat com pistola de pintura.



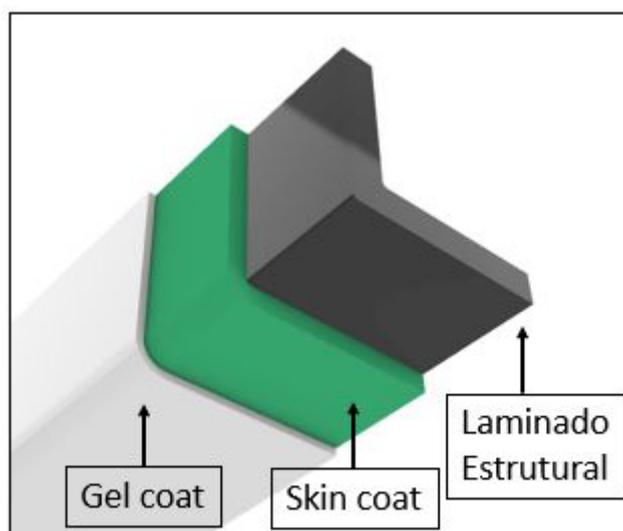
Fonte: Autor (2023)

2.1.4. Skin Coat

Skin Coat é uma técnica aplicada na fabricação de PRFV em que se dispõe uma sequência de matriz e reforço após a aplicação do gelcoat. Essa técnica traz uma série de benefícios para o laminado, atuando como uma barreira protetora que age contra infiltração e possíveis danos ao material.

Na Figura 8, é representado de que maneira o skin coat é arranjado em uma peça.

Figura 8 – Representação do Skin Coat num laminado.



Fonte: Autor (2023)

A barreira protetora formada pelo skin coat atua em ambos os lados do laminado. Pelo lado interno, durante a fabricação, o skin coat impede a impressão das fibras do tecido no gelcoat, fenômeno conhecido como print through. Pelo lado externo, durante a vida útil do laminado, atua como uma barreira contra infiltrações externas, principalmente no caso de barcos, por estar em contato direto com a água (Nasseh, 2011).

Apesar do avanço com a matéria-prima, o processamento dessa técnica é algo que ainda envolve operação manual, essencialmente nas fases iniciais da laminação, ou seja, a confecção do skin coat depende da técnica do laminador.

O processamento do skin coat é feito através da técnica de laminação manual, em que se dispõe camadas de manta sobre a peça a ser laminada que em seguida são molhadas com resina.

De maneira geral, a primeira camada de manta deve ser sempre a mais leve por ter maior maleabilidade no momento de alocação no molde, além de facilitar a expulsão de bolhas retidas entre camadas ou entre skin coat e gelcoat através da roletagem (Nasseh, 2011).

A decisão sobre a quantidade de manta e conseqüentemente a espessura a ser empregada dependerá das prioridades atribuídas ao componente em questão. Apesar da aplicação do skin coat ser uma ideia amplamente difundida na manufatura com PRFV, não há regra ou norma que estabeleça a quantidade mínima de camadas de manta de fibra de vidro aplicada em seguida ao gelcoat (Nasseh, 2011).

Há um consenso prático no âmbito da construção de barcos que determina a espessura do skin coat, que deve variar de 2 mm a 3 mm, correspondendo a aproximadamente de 900 g/m² à 1500 g/m² de manta de fibra de vidro, respectivamente (Nasseh, 2008).

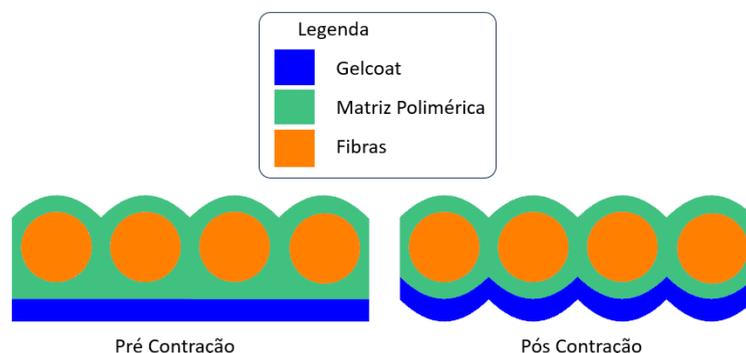
Valores fora dessa faixa perdem a funcionalidade da técnica e acabam prejudicando o produto final, ou seja, se a ênfase estiver na proteção contra a umidade, a espessura do skin coat tenderá a ser maior, e conseqüentemente aumentará o peso final da peça. No caso dos barcos isso é considerado um infortúnio, pois o veículo carrega esse peso extra para o resto da sua vida útil, consumindo mais combustível. No entanto, se o foco principal for prevenir o fenômeno de impressão de fibras (print through), com a redução correspondente na

espessura aplicada, a proteção contra umidade será comprometida devido à maior suscetibilidade do material a infiltrações (Nasseh, 2008).

Dependendo da espessura selecionada na fabricação do skin coat, defeitos nessa etapa podem condenar todo o esforço empenhado no processo de construção de uma embarcação. Existem diferentes tipos de defeitos encontrados no skin coat, sendo eles: print through, vazios e barreira insuficiente (West System, 2007).

A causa principal do print through reside na diferença dos coeficientes de dilatação térmica da resina e da fibra. Assim, após o processo de cura do laminado o padrão do reforço de fibra de vidro pode aparecer através do revestimento de gel, indicando o defeito do print through. Embora não cause danos estruturais, representa preocupação na produção de embarcações, pois afeta a percepção estética do casco (Greene, 1999). Nas Figuras 9, pode-se observar um caso ilustrativo e um caso real de impressão de fibras, respectivamente.

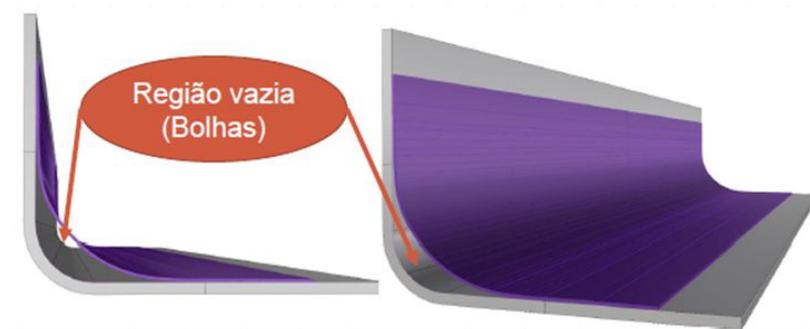
Figura 9 – Representação esquemática da contração e print through.



Fonte: Autor (2023).

Como em todo laminado, a presença de vazios no skin coat é também indesejada, pois além de comprometer as propriedades mecânicas do compósito, sujeita a peça a pontos de fragilidade, sendo cantos locais especialmente propensos a essa ocorrência, como representa a Figura 11.

Figura 10 – Região propensa a formação de bolhas em peças laminadas.



Fonte: Pinto (2022).

Imperfeições causadas por vazios podem comprometer a estética e a durabilidade do produto, acarretando custos adicionais de retrabalho. Sendo assim, são fundamentais a experiência e a destreza do profissional para obter resultados excepcionais que contornam esses defeitos.

Outro ponto a se considerar é o cuidado necessário no desenvolvimento de um novo produto. Ao conceber um projeto destinado à fabricação utilizando laminação manual, é importante considerar fatores que tenham influência no produto final, como o ângulo de extração, a dimensão mínima dos cantos vivos (em que o raio não deve ser inferior a 6mm), a qualidade do molde e a profundidade limite para o laminador atuar. Estar atento a tais aspectos é uma maneira de antecipar um resultado mais satisfatório e evitar defeitos (Peterhans, 2013).

Ao se tratar especialmente de cantos, caso haja um ângulo no molde, o reforço apresentará dificuldade para seguir o contorno da geometria devido a um encolhimento natural da manta após curada. Essa retração da manta nos cantos proporcionará regiões vazias entre camadas. Na Figura 12, estão expostos casos reais do defeito mencionado.

Figura 11 – Cantos comprometidos em embarcações devido à vazios entre camadas do laminado.



Fonte: Autor (2022)

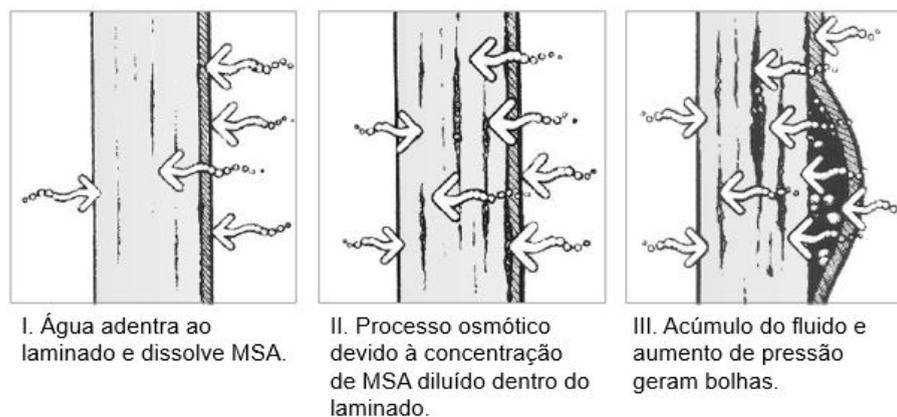
Por sua vez, defeitos relacionados a vazios pelo laminado e a barreira falha do skin coat estão correlacionados. No processo de fabricação, podem ser formados vazios de diferentes tamanhos e em diferentes posições, que são capazes de gerar inconvenientes durante a vida útil da peça. Essas bolhas presentes da camada do skin coat são pontos suscetíveis a passagem e ao acúmulo de umidade, tornando o laminado mais vulnerável ao ataque químico.

Além da presença de vazios, a espessura insuficiente do skin coat, associada à deficiência no tipo ou espessura do gelcoat, facilitam um problema conhecido como osmose.

A osmose nos laminados começa com a penetração de água no gelcoat, dissolvendo materiais solúveis e formando uma solução ácida que se acumula, causando pressão e expansão de bolhas no revestimento. Se a solução reagir com a resina de poliéster, ocorre a hidrólise, comprometendo assim a resistência estrutural do casco. (West System, 2007).

Na Figura 13 é apresentado um esquema do processo de osmose.

Figura 12 – Esquema do processo do defeito de osmose.



Fonte: Adaptado de West System (2007, p.4)

2.3. RETRABALHO

A fabricação de materiais compostos é suscetível a erros devido à complexidade detalhada dos processos envolvidos. Quando se fala de laminação manual, variedade de camadas e a manualidade do processo aumentam as falhas potenciais, provenientes de inconsistências na laminação, problemas de adesão entre materiais, falhas no manuseio de fibras e resinas e eventual erro operacional.

O retrabalho devido a defeitos oriundos da fabricação acarreta não apenas custos adicionais ao refazer peças ou seções, mas também desperdício de materiais, tempo e recursos, afetando o cronograma de produção (Dennis, 2008).

A correta aplicação das técnicas de laminação desempenha um papel importante na minimização do retrabalho, reduzindo a incidência de defeitos e retrabalhos posteriores. O conhecimento da técnica e do material utilizado é fundamental para diminuir erros humanos (Nasseh, 2008).

Para reduzir o retrabalho, o emprego de certas estratégias é indicado, como por exemplo a aplicação de recursos de controle de qualidade durante a fabricação, a inspeção rigorosa das matérias-primas, a manutenção regular de equipamentos e o monitoramento contínuo dos parâmetros de produção. Além disso, o treinamento especializado dos operadores e técnicos é importante, pois são os principais responsáveis pela fabricação. A compreensão dos processos e a aplicação de boas práticas de fabricação são o ponto de partida para minimizar o retrabalho (Peterhans, 2013).

A implementação dessas estratégias não apenas reduz os custos associados ao retrabalho, mas também fortalece a competitividade, melhorando a eficiência operacional e a qualidade do produto final.

2.3.1. O retrabalho pela filosofia LEAN

A filosofia Lean, originada do Sistema de Produção Toyota (TPS), é uma abordagem de gestão industrial que visa maximizar a eficiência ao eliminar desperdícios, concentrando-se na criação de valor para o produto e o cliente. Com base em princípios e práticas, busca aprimorar os processos produtivos, reduzindo o tempo, esforço e recursos desperdiçados (Dennis, 2008).

Essa metodologia adotada na indústria promove um sistema de gestão de operações voltado para a melhoria contínua, identificando e eliminando desperdícios em todas as etapas do processo produtivo. Os sete tipos de desperdícios, conhecidos como - 7 desperdícios do Lean - que incluem superprodução, tempo de espera, transporte, excesso de processamento, inventário, movimentação excessiva e defeitos. Reduzir esses desperdícios é primordial para otimizar a eficiência operacional (Dennis, 2008).

O retrabalho, que é considerado um desperdício na manufatura enxuta, ocorre quando um produto ou serviço não atende aos padrões de qualidade, exigindo correções adicionais após sua conclusão. Ele é prejudicial, consumindo recursos, tempo e esforços valiosos que poderiam ser direcionados para atividades mais produtivas e valorosas.

A abordagem Lean busca eliminar o retrabalho, bem como outros tipos de desperdícios, promovendo a eficiência nos processos. Estratégias como identificação de causas fundamentais, padronização e melhoria de processos, controle de qualidade e capacitação dos colaboradores são essenciais para atingir esse objetivo (Liker, 2007).

3. METODOLOGIA

De acordo com os objetivos estabelecidos neste trabalho, buscou-se na bibliografia técnica a base teórica para compreender materiais, processos, vantagens e desvantagens da laminação manual, a fim de evitar a presença de defeitos causados pela imperícia na execução da técnica na fabricação de barcos em PRFV, conforme apresentado no Capítulo 2.

Posteriormente, foram conduzidos testes experimentais para identificar, dentre os métodos utilizados, o mais indicado na mitigação na formação de bolhas em cantos durante o processo de laminação. Foi então analisada a incidência e a quantidade de bolhas em cantos entre as camadas de gelcoat e skin coat. Esta análise foi realizada inicialmente de forma visual e posteriormente de maneira destrutiva, em que foi possível apontar e quantificar os defeitos.

A variação entre os experimentos ocorreu através da utilização, ou não, de massa adicional nos cantos, com o objetivo de preencher locais com possíveis vazios e reduzir esses defeitos de fabricação. As duas massas utilizadas, denominadas Massa A e Massa B neste estudo, foram escolhidas com base nas recomendações de estaleiros colaboradores que já empregavam esses materiais, embora para propósitos distintos.

A Massa A, conhecida comercialmente como massa de união com fibra moída, é um compósito reforçado com partículas. Essa massa era empregada pelos estaleiros tanto em colagens estruturais quanto no reforço de cantos em laminações.

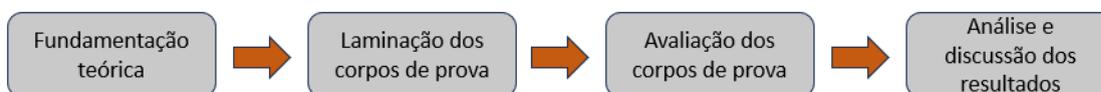
Por outro lado, a Massa B, desenvolvida a partir do conceito de compósito reforçado com fibras, era destinada especificamente ao reforço de cantos em moldes, uma vez que essas estruturas demandam uma resistência superior.

As especificações de cada material usado são desenvolvidas na Seção 3.1.

Ao concluir os experimentos, os resultados obtidos foram comparados e discutidos.

Na Figura 13, é apresentado o fluxograma da metodologia adotada na elaboração deste trabalho.

Figura 13 – Fluxograma com metodologia utilizada no trabalho.



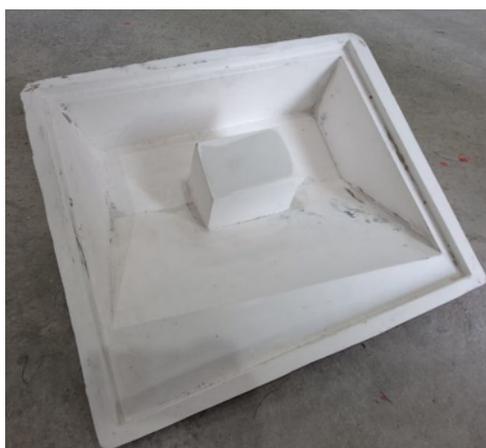
Fonte: Autor (2023).

O objetivo principal desta investigação foi avaliar de forma experimental como o emprego de massa entre as camadas de gelcoat e skin coat pode ser utilizado para reduzir a formação de vazios em cantos durante o processo de laminação manual. Para a condução do experimento, foi necessário contar com a colaboração de dois estaleiros, cujos nomes serão preservados por questões de confidencialidade de marca.

O Estaleiro 1, localizado em Itajaí (SC), forneceu o espaço e todo o material necessário para a pesquisa, com exceção do molde. Já o Estaleiro 2, situado em Araquari (SC), contribuiu com o molde para a execução do trabalho. Ambos os estaleiros são especializados na produção de embarcações de recreio em PRFV.

Foi selecionada uma seção específica de um molde correspondente a uma região do convés de uma embarcação pertencente ao Estaleiro 2, para a fabricação dos corpos de prova utilizados neste estudo, como ilustra a Figura 14.

Figura 14 – Molde fornecido pelo estaleiro 2.



Fonte: Autor (2023).

A escolha dessa seção do convés foi motivada por uma indicação prévia do Estaleiro 2, que mencionou uma incidência recorrente de bolhas nos vértices e arestas entre o gelcoat e o skin coat. A Figura 15 ilustra as seções do molde

utilizadas nos experimentos.

Figura 15 – Seções utilizadas do molde para elaboração dos testes.



Fonte: Autor (2023).

Previamente aos experimentos foram levantadas as variáveis que poderiam vir a interferir na análise, sendo estas:

- Quantidade de materiais para laminação;
- Pré-corte da manta;
- Geometria da região;
- Composição da massa;
- Tempo de gel da massa;
- Método/ferramentas de aplicação da massa.

Para fins de comparação, a estratégia adotada para contornar as variáveis foi seguir o mesmo padrão de laminação manual em todos os testes, garantindo as mesmas quantidades de materiais e as determinações usuais de espessura. Ademais, o molde apresentava simetria na área analisada, permitindo a confecção simultânea de dois corpos de prova, sendo estes laminados pelo mesmo indivíduo, respeitando um ritmo de trabalho consistente e uma técnica de laminação uniforme. Foram utilizados produtos da mesma marca em quantidades iguais, repetindo as ferramentas e mantendo as mesmas condições ambiente. Esse cuidado assegurou que o procedimento fosse executado de maneira semelhante em todas as laminações, possibilitando a reprodutibilidade dos experimentos.

Foram realizadas três séries experimentais, cada uma composta por três CP. O experimento teve início com a aplicação de cera desmoldante, utilizando uma estopa de pano. Em seguida, procedeu-se à aplicação do gelcoat, optando pelo uso

de uma pistola de pintura para reproduzir de forma mais fiel possível o procedimento utilizado na fabricação de um barco, garantindo assim uma camada de gelcoat com espessura mais homogênea. Assim que o gelcoat atingiu o ponto de toque, o processo seguiu conforme o planejado para cada processo específico.

No processo 1, foram empregados gelcoat, matriz polimérica e duas camadas de manta pré-cortadas. Já no processo 2, foi utilizada, nos cantos dos três corpos de prova, Massa A entre a aplicação do gelcoat e a do skin coat. Por fim, para o processo 3, foi confeccionada a Massa B a partir da mistura de resina poliéster, roving picado e Aerosil ®, para ser usada nos cantos dos corpos de prova entre as camadas de gelcoat e skin coat referentes ao terceiro teste.

O Quadro 2, apresentado a seguir, mostra o plano de laminação dos experimentos elaborados:

Quadro 2 – Plano de laminação dos experimentos elaborados.

ORDEM	INSUMOS	Processo 1	Processo 2	Processo 3
	Cera desmoldante	✓	✓	✓
	Gel Coat	✓	✓	✓
	Massa A		✓	
	Massa B			✓
	Resina Poliéster	✓	✓	✓
	2x Manta 450 g/m ²	✓	✓	✓

Fonte: Autor (2023).

Na seção seguinte são apresentadas as características dos materiais utilizados na fabricação dos corpos de prova.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Para elaboração e análise dos corpos de prova foram utilizadas as seguintes ferramentas: trincha, rolo de lã de carneiro, espátula, tesoura, régua, balança, recipiente descartável de polipropileno, palito de madeira, estopa de pano e esmerilhadeira. A Figura 16 a seguir, apresenta algumas das ferramentas utilizadas no processo.

Figura 16 – Principais ferramentas utilizadas no processo de laminação manual (a) Rolo de lã de carneiro, (b) Trincha, (c) Espátula e (d) Rolete.



Fonte: Autor (2023).

Também foram empregados os materiais: cera desmoldante, gelcoat, massa, matriz polimérica, Aerosil®, solvente, roving picado e manta de fibra de vidro. Todos os materiais consumíveis utilizados foram pesados usando uma balança. Explicações sobre características e funções de cada tipo de material utilizado nos testes estão presentes na fundamentação teórica.

A cera desmoldante utilizada foi a TR 102 Mold Release Regular, descrita pelo fabricante por proporcionar boas propriedades de resistência ao calor e produtos químicos e fácil característica de aplicação segundo o fabricante.

O gelcoat utilizado foi o BRITEC MN 2000 BRANCO NÁUTICO INVERNO da marca BRITEC, correspondente ao lote 20253808, com data de vencimento prevista para 24 de novembro de 2023. Recomendado para uso náutico, pois segundo o fabricante apresenta alta viscosidade aparente, alto índice tixotrópico, alto poder de cobertura e resistente a infiltrações.

Como matriz foi utilizada uma resina do tipo poliéster insaturada ortoftálica, a H 775 TA - VERÃO, da fabricante ENYDYNE, correspondente ao lote 0001490560,

com data de fabricação para 15 de setembro de 2023 e validade para 13 de janeiro de 2024. O fabricante da resina recomenda sua aplicação em laminações manuais pela ótima molhabilidade, baixo mapeamento da fibra, baixa contração linear, média viscosidade, dentre outras características.

Como iniciador foi utilizado o MEKP (peróxido de metiletil cetona) da marca RHA1. Segundo consta nas instruções do produto, cada 40 gotas equivalem a 1 g.

Também foi utilizado o reforço de fibra de vidro tipo E, na forma de manta com uma gramatura de 450 g/m².

A massa aplicada no processo 2 foi denominada neste trabalho como Massa A. Trata-se da massa de união com fibra moída da marca EGC Fiberglass, composta por resina poliéster, cargas minerais inertes, pigmentos, aditivos e fibra moída. A Massa A corresponde ao lote 2455/23, com validade até 13 de janeiro de 2024. Este produto, indicado pelo fabricante para colagens e preenchimento de cantos.

Foi utilizada uma segunda massa para ser empregada no processo 3, nomeada Massa B, buscou-se a utilização conceitos de materiais compósitos reforçado por fibras descontínuas e aleatoriamente orientadas, como comenta Callister (2016). Além do conceito da adição de cargas, para alcançar melhorias físicas do produto final (MOREIRA, 2008). Baseado nisso, misturou-se matriz polimérica, Aerosil ® e roving picado no comprimento de 3mm, a fim de gerar um material reforçado e com textura mais viscosa.

Nos Anexos, é possível ter acesso as características dos materiais empregados na laminação.

4. FABRICAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram confeccionados no estaleiro 1, durante a primeira quinzena do mês de novembro de 2023, a temperatura média do ambiente nesse período foi de 25°C, sem grandes alterações.

A seção do molde utilizada na criação dos corpos de prova representava uma área de aproximadamente 0,1 m². Com base nessas dimensões, foi possível calcular a quantidade de material utilizado para as laminações de cada experimento. Para atingir a gramatura de 900 g/m² no skin coat dos corpos de prova e considerando uma proporção de matriz/reforço de cerca de 60%, levando em conta as limitações do processo de laminação manual, foi calculado o uso de aproximadamente 90 g de manta de fibra de vidro com gramatura de 450 g/m² para cerca de 150 g de matriz polimérica, desconsiderando excedentes na aba de corte da peça.

As mantas foram pré-cortadas de maneira que, quando posicionadas na seção a ser laminada, houve uma sobreposição até atingir espessura projetada. Em seguida, foram pesadas e separadas, conforme ilustra a Figura 17 a seguir.

Figura 17 – Pesagem das mantas pré-cortadas.



Fonte: Autor (2023).

Para os testes 2 e 3, foram utilizadas a Massa A e Massa B, respectivamente.

A Massa A, correspondente a uma massa comercial da marga EGC Fiberglass, composta de resina poliéster, cargas minerais inertes, pigmentos, aditivos e fibra moída, como exposto na Seção 3.1. A Figura 18 a seguir, ilustra a Massa A, da fabricante EGC Fiberglass.

Figura 18 – Massa poliéster com fibra moída.



Fonte: Autor (2023)

A Massa B, por sua vez, foi fabricada durante os testes a partir de uma mistura de matriz polimérica, a mesma utilizada na laminação, Aerosil ® e roving picado com 3 mm de comprimento. Essa formulação foi desenvolvida com base em conceitos apresentados na literatura, conforme também discutido na Seção 3.1.

A proporção utilizada na preparação da Massa B foi de 30 partes de matriz polimérica para 6 partes de roving picado de 3 mm e 1 parte de Aerosil ®. A receita para a preparação da Massa B foi fornecida pelo estaleiro 1, onde o estudo foi conduzido, e a mesma receita é utilizada no reforço de cantos na estruturação de moldes. O resultado da receita da Massa B está ilustrado na Figura 19.

Figura 19 – Aspecto da Massa B.



Fonte: Autor (2023).

A seguir, serão descritos os experimentos e maneiras com que cada um se diferencia.

4.1. PROCESSO 1

A fabricação dos corpos de prova da primeira abordagem seguiu uma configuração simples de laminação. Com o molde posicionado no local de trabalho, foram aplicadas três demãos da cera desmoldante, utilizando uma estopa de pano, com intervalos de 15 minutos entre cada uma. Como mostra a Figura 20.

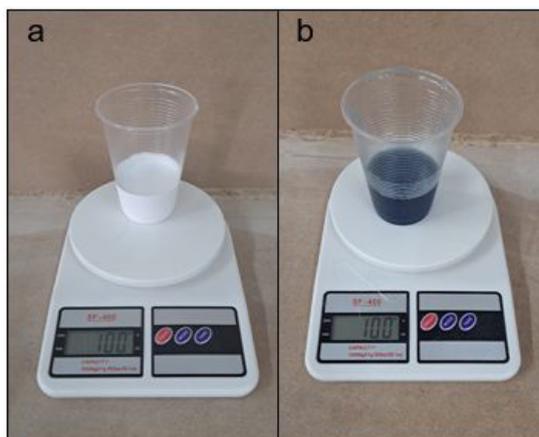
Figura 20 – Aplicação da cera desmoldante.



Fonte: Autor (2023).

Durante os procedimentos com a cera desmoldante, foram realizados os testes de tempo de gel com o gelcoat e a resina poliéster utilizada no processo. Para esses testes, foram utilizados 100 g do gelcoat e 100 g da resina, cada um em um recipiente, adicionados de 1% em massa de iniciador MEKP. Os testes de tempo de gel indicaram aproximadamente 32 minutos até o início da mudança de viscosidade para o gelcoat e 30 minutos para a resina. A Figura 21 apresenta os resultados dos testes de tempo de gel.

Figura 21 – Testes de tempo de gel com (a) Gelcoat (b) Resina.



Fonte: Autor (2023).

Tendo conhecimento do tempo de trabalho dos materiais, inicialmente, aplicou-se 150 g de gelcoat com 1% de iniciador MEKP, utilizando uma pistola de pintura. É importante ressaltar que a pistola de pintura borrafa material para além da região de interesse devido ao ângulo de aspersão do bico de regulação da pistola. Além disso, o excesso de material contido no copo após a pintura não pode ser mensurado.

Após cerca de 1 hora e 30 minutos da aplicação do gelcoat, atingiu-se o ponto de toque. A partir desse momento, iniciou-se a laminação manual com 150 g de resina poliéster e 90 g de manta de fibra de vidro com gramatura de 450 g/m². Para a colocação da primeira camada de manta, foi aplicada previamente sobre o molde resina já inicializada, utilizando um rolo de lã de carneiro. A primeira camada de manta, inicialmente pré-cortada, foi então posicionada sobre o molde molhado com resina e levemente pressionada com o rolo, de modo a trazer a resina por entre a superfície e impregná-la totalmente.

Em seguida, o processo foi repetido para a segunda camada de manta, que somada à primeira, alcançaram 900 g/m² para a área demarcada do molde. Essa quantidade atende ao mínimo recomendado por Nasseh (2008) para o emprego no skin coat, além de garantir a produtividade, visto que camadas extras demandam custos adicionais de produção.

Por fim, utilizou-se um rolete com 15 mm de diâmetro para compactar e eliminar o excedente de bolhas entre camadas e nos cantos. A roletagem seguiu o sentido aresta-face, a fim de acomodar o laminado conforme a geometria do molde, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 – Compactação da laminação com rolete.

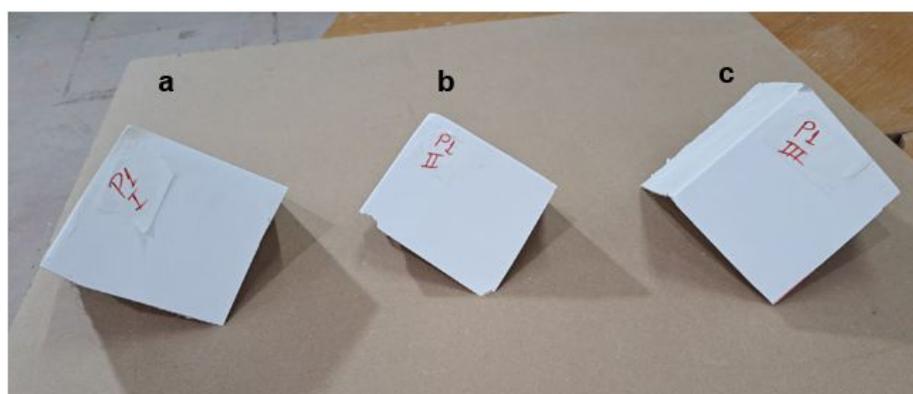


Fonte: Autor (2023).

Após aproximadamente 5 horas, completamente curado, o corpo de prova I do processo 1 foi desmoldado, destacando-o perpendicularmente a uma das faces laminadas.

O mesmo procedimento foi repetido na elaboração dos outros dois corpos de prova do processo 1. Na Figura 23 estão representados os corpos de prova do primeiro teste após retirados, identificados e rebarbados.

Figura 23 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 1.



Fonte: Autor (2023).

4.2. PROCESSO 2

O processo 2 teve início com a aplicação de três camadas de cera desmoldante no molde, utilizando uma estopa de pano, com intervalos de 15

minutos entre cada demão. No tempo entre demãos de cera, foram realizados os testes de tempo de gel, utilizando 100 g da resina poliéster, 100 g de gelcoat e 100 g de Massa A, cada um em recipientes distintos, com 1% de MEKP em massa para cada material. Os resultados dos testes de tempo de gel indicaram 30 minutos, 32 minutos e 18 minutos, respectivamente.

Conhecendo os tempos de trabalho deste experimento, misturou-se 150 g de gelcoat para 1% de iniciador MEKP, aplicados com uma pistola de pintura. Após aproximadamente 1 hora e 30 minutos, o material atingiu o ponto de toque, possibilitando avançar para a próxima etapa da fabricação do corpo de prova.

Foram então aplicados 100 g da Massa A, utilizada pelo Estaleiro 1 para a mesma finalidade, iniciados com cerca de 1% de MEKP em massa, com auxílio de uma trincha e posterior acomodação com uma espátula, conforme apresenta a Figura 24.

Figura 24 – Aplicação da massa união com fibra moída da EGC Fiberglass.



Fonte: Autor (2023).

Logo em seguida, com a massa ainda em processo de cura, ou seja, maleável, foi seguido o processo de laminação com duas camadas de manta de 450 g/m² e resina poliéster para atingir a espessura projetada de 900 g/m² para o skin coat.

Iniciou-se a laminação com 150 g de resina e 90 g de manta, assim como utilizado no processo 1. Utilizou-se um rolo de lã de carneiro para umedecer previamente o molde, em seguida, posicionou-se a primeira camada de manta pré-

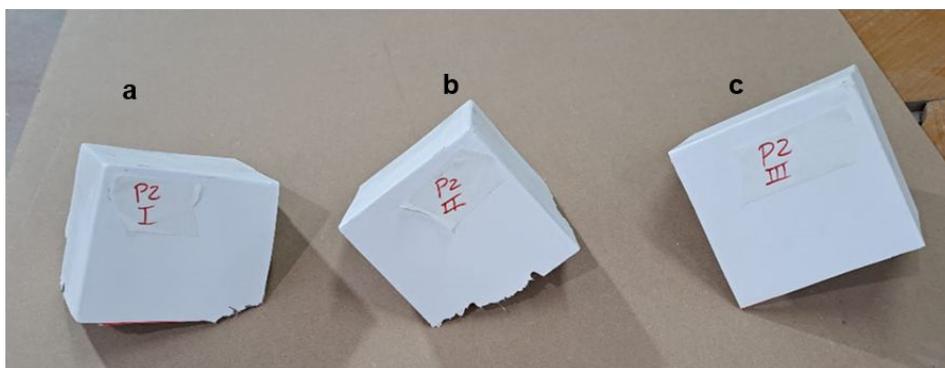
cortada sobre a resina e prensou-se com o rolo para garantir a completa impregnação da resina na superfície. Na sequência, repetiu-se o mesmo procedimento para a segunda camada de manta. Ambas as camadas somadas totalizaram 900 g/m² na área demarcada para laminação.

Para finalizar, a peça foi compactada com o rolete de 15 mm de diâmetro. A roletagem seguiu o mesmo sentido do processo 1 (aresta-face), a fim de eliminar o excedente de bolhas entre camadas, bem como compactar a manta impregnada contra a massa presente nos cantos evitando assim a formação de lacunas e futuros espaços vazios.

Em seguida, partiu-se para o desmolde, soltando a peça do molde, puxando-a perpendicularmente a uma das faces laminadas, após cerca de 5 horas, com a cura completa.

Repetiu-se o procedimento para a elaboração dos outros dois corpos de prova do processo 2. A Figura 25 apresenta os corpos de prova deste teste.

Figura 25 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 2.



Fonte: Autor (2023).

4.3. PROCESSO 3

Para o terceiro e último processo, o experimento começou com a aplicação de três camadas de cera desmoldante usando uma estopa de pano, com intervalos de 15 minutos entre cada demão. Conjuntamente, foram realizados os testes de tempo de gel, nos quais foram utilizados 100 g de resina poliéster e 100 g de gelcoat, em recipientes distintos, com 1% de MEKP em massa para cada. Os resultados indicaram 30 minutos e 32 minutos para resina e gelcoat, respectivamente.

Tendo conhecimento dos tempos de trabalho desta abordagem, foram misturados 150 g de gelcoat com 1% de iniciador MEKP, aplicados no molde com uma pistola de pintura. Após aproximadamente 1 hora e 45 minutos, o material atingiu ponto de toque, sendo possível seguir para o próximo passo da fabricação.

A título de conhecimento sobre a Massa B, foram elaborados três testes de tempo de gel com diferentes concentrações de iniciadores: o primeiro continha 0.5%, o segundo 1% e o terceiro 2% de MEPK em massa da correspondente receita da Massa B. O resultado do tempo de trabalho para os testes foi de aproximadamente 22, 16 e 10 minutos, respectivamente. O experimento no corpo de prova do processo 3 foi conduzido com a menor concentração em MEKP, a qual apresentou maior tempo de trabalho.

Determinado o percentual de iniciador e conhecido o tempo de trabalho da Massa B, seguiu-se para aplicação de 60 g da mistura nas arestas do corpo de prova. Com o auxílio de um pincel, a massa foi alocada nos cantos para acomodá-la, não sendo necessário o uso da espátula, pois a trincha era suficiente para aplicar corretamente o material e prepará-lo para receber a camada seguinte de manta e resina. Representado na Figura 26 está a aplicação da Massa B nos cantos do molde para a fabricação dos corpos de prova.

Figura 26 – Aplicação da Massa B.



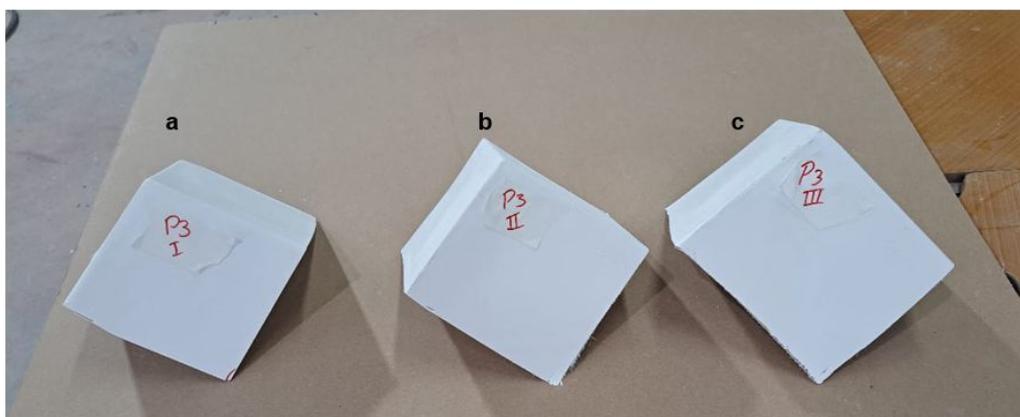
Fonte: Autor (2023).

Foi então iniciada a laminação com resina poliéster e 90 g de manta com 450 g/m², como nos processos anteriores. Para tanto, foi utilizado um rolo de lã de carneiro para espalhar uma primeira demão de resina inicializada com 1% de MEKP, para então posicionar a primeira camada de manta, já pré-cortada, sobre a demão de matriz, garantindo a completa impregnação na superfície. Na sequência, repetiu-se o procedimento para a segunda camada de manta para atingir a gramatura de 900 g/m² projetada para a peça.

Por fim, o corpo de prova foi roletado com o rolete de 15 mm de diâmetro das quinas para as faces, conforme os testes anteriores. O procedimento teve como finalidade retirar bolhas entre camadas, assim como pressionar a manta impregnada contra a Massa B presente nos cantos do laminado, evitando lacunas e futuros pontos de fragilidade.

Após cerca de 5 horas, com a peça curada, foi realizado o desmolde, puxando-a perpendicularmente a face do molde até destacá-la. O mesmo procedimento foi repetido na elaboração dos outros dois corpos de prova do processo 3. A Figura 27 a seguir ilustra os corpos de prova deste teste após identificados e rebarbados.

Figura 27 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III do processo 3.

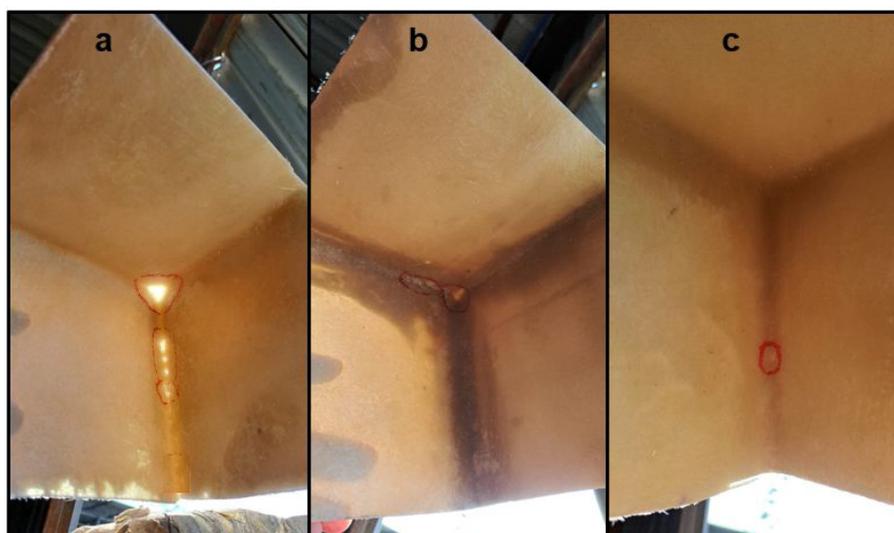


Fonte: Autor (2023).

5. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA

A partir dos corpos de prova reunidos, foi inicialmente realizada uma inspeção visual na parte interna com o objetivo de usá-lo como primeiro indicativo para verificar a presença de possíveis vazios nas arestas entre as camadas do gelcoat e skin coat. Posicionando as peças contra a luz, foi possível indicar, por meio de um marcador permanente vermelho, os possíveis pontos de fragilidade, conforme exemplificado na Figura 28.

Figura 28 – Identificação visual de potenciais bolhas nas arestas através da luz. (a) CP II - processo 1, (b) CP II - processo 2, (c) CP I - processo 3.



Fonte: Autor (2023).

Após analisar e identificar potenciais falhas em todos os corpos de prova, foi então conduzido um teste destrutivo, para validar as constatações do teste visual. Com auxílio de uma espátula foram proferidas batidas contra as arestas dos corpos de prova.

Seguiu-se então para o teste de impacto a fim de tornar visível potenciais vazios identificados no teste visual e vazios que passaram não detectados. Devido a lacunas existentes nas arestas do laminado, a camada de gelcoat desenvolvia um caráter frágil, expondo o defeito com facilidade apenas com uma simples batida da espátula. Evidenciando assim, alguns defeitos apontados na etapa visual. Entretanto, percebeu-se após o teste de impacto que nem todos os destaques com o

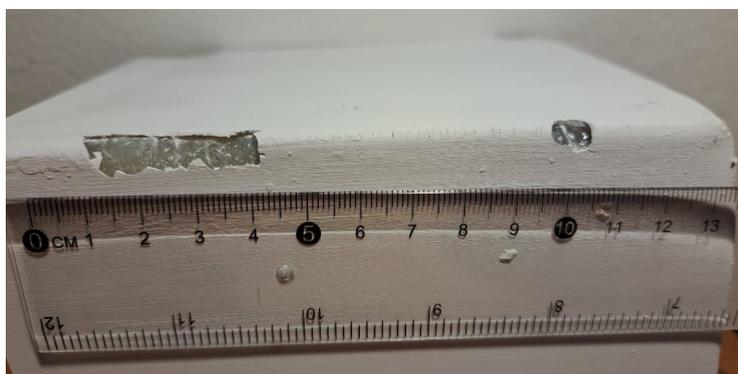
marcador vermelho representavam vazios de fato entre as camadas do gelcoat e do skin coat.

Uma vez evidenciados todos os vazios nos corpos de prova após o teste de impacto, os defeitos foram inspecionados e medidos com o auxílio de uma régua, a fim de compará-los quanto à incidência de ocorrência.

5.1. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 1

No primeiro teste, no corpo de prova I, não foi observado nenhum ponto de possível vazio durante o teste visual. No entanto, após o teste de impacto, foram identificados dois vazios entre a camada de gelcoat e skin coat. Um dos defeitos apresentava uma forma mais alongada, com aproximadamente de 35 mm de comprimento, enquanto o segundo era mais pontual, com cerca de 8 mm de comprimento, ambos na mesma aresta. Conforme mostra a Figura 29.

Figura 29 – Corpo de prova I, processo 1.



Fonte: Autor (2023).

No corpo de prova II, após a desmoldagem, algumas partes da peça já exibiam danos no gelcoat. Durante a inspeção visual, foram facilmente identificados dois defeitos, os quais foram posteriormente evidenciados no teste de impacto. Além disso, um vazio pontual que não foi percebido visualmente também foi detectado, com dimensões de 38 mm, 35 mm e 5 mm. Ocorrendo em duas arestas do corpo de prova, conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30 – Corpo de prova II, processo 1.



Fonte: Autor (2023).

No último corpo de prova do processo 1, nenhum defeito foi observado durante o teste visual. No entanto, após o teste de impacto, foram revelados dois vazios pontuais menores, aproximadamente de 9 mm e 4 mm, na mesma aresta, como ilustrado na Figura 31.

Figura 31 – Corpo de prova III, processo 1.



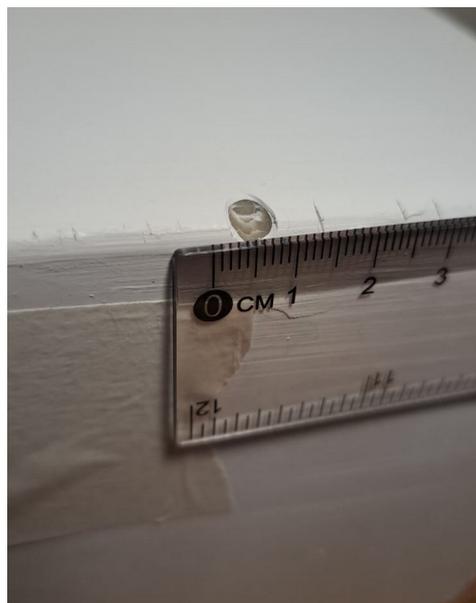
Fonte: Autor (2023).

5.2. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 2

Na avaliação visual dos corpos de prova do processo 2, notou-se que a pigmentação opaca da Massa A dificultava a identificação dos defeitos.

Apesar dessa dificuldade, no corpo de prova I, foi possível sublinhar três possíveis vazios com o marcador vermelho. No entanto, apenas um dos possíveis defeitos destacados foi confirmado no teste de impacto, apresentando um comprimento de aproximadamente 7 mm. Além disso, outro defeito com cerca de 5 mm de comprimento foi descoberto em outra aresta durante o teste de impacto. Conforme apresentado na Figura 32.

Figura 32 – Corpo de prova I, processo 2.



Fonte: Autor (2023).

No corpo de prova II, durante a análise visual, foram apontados dois pontos com possíveis bolhas. Contudo, no teste de impacto, nenhum dos dois se revelou como vazio efetivo, e em outra região, foi observado um defeito com aproximadamente 10 mm de comprimento. Conforme mostra a Figura 33.

Figura 33 – Corpo de prova II, processo 2.



Fonte: Autor (2023).

Quanto ao último corpo de prova do processo 2, dois pontos foram destacados como potenciais defeitos. No entanto, nenhum deles foi confirmado no teste de impacto. Em contrapartida, foram identificados outros três vazios pontuais, com dimensões de aproximadamente 4 mm e 5 mm na aresta, e 8 mm no vértice da peça. Como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Corpo de prova III, processo 2.

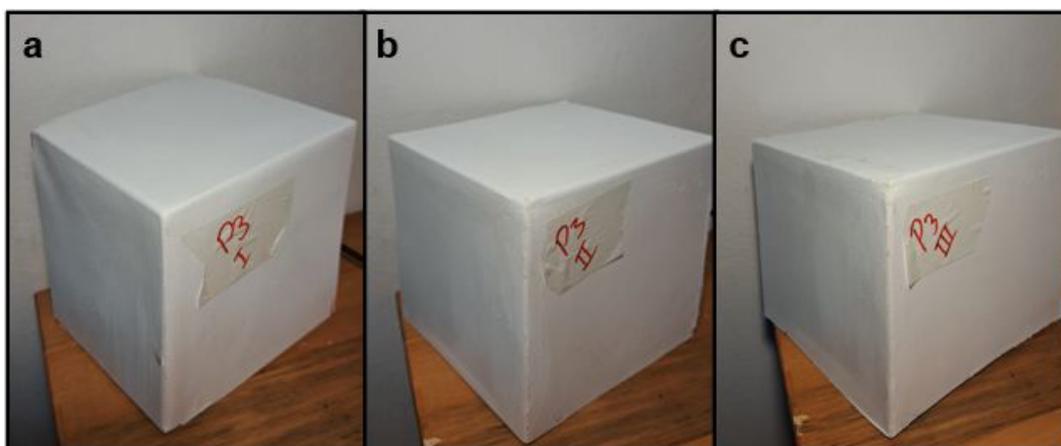


Fonte: Autor (2023).

5.3. ANÁLISE DOS CORPOS DE PROVA DO PROCESSO 3

Diferente dos testes anteriores, no processo 3, apenas uma potencial falha foi indicada no corpo de prova I no teste visual, enquanto que em nenhum outro corpo de prova foram encontrados indícios de vazios. Vale ressaltar que o material da Massa B, possuía a mesma coloração da resina empregada na laminação, por conta disso, a inspeção visual pode ser desenvolvida normalmente, assim como no processo 1. Assim como apresenta a Figura 35.

Figura 35 – Corpos de prova (a) I, (b) II e (c) III, processo 3.



Fonte: Autor (2023).

No entanto, nenhum vazio foi evidenciado durante o teste de impacto para nenhum dos corpos de prova referentes ao teste.

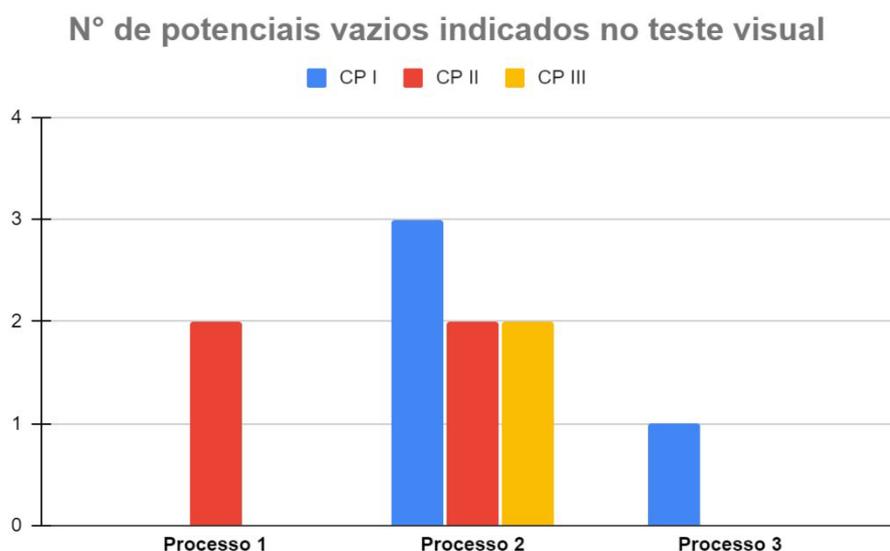
6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao realizar esses experimentos, foram obtidas percepções sobre as soluções que se apresentaram mais eficientes para diminuir a ocorrência de bolhas em cantos nas laminações, contribuindo assim para aprimorar a qualidade do produto final e reduzir o retrabalho na peça, que como é tratado no LEAN, traz consequências danosas a empresa, prejudica a produtividade e aumenta custos.

A partir dos dados obtidos com a exposição dos defeitos nos cantos foi possível quantificar e indicar o método que se mostrou mais eficiente. A seguir, são exibidos os gráficos quantitativos dos defeitos percebidos nos testes visual e de impacto.

O Gráfico 1 a seguir foi construído a partir da análise visual dos corpos de prova.

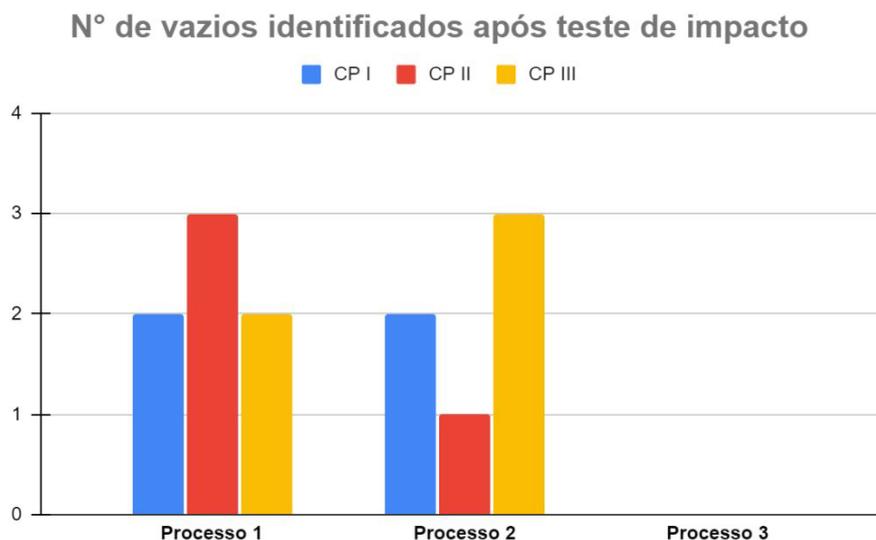
Gráfico 1 – Análise quantitativa do teste visual



Fonte: Autor (2023).

Já o Gráfico 2, formado com a quantificação de defeitos identificado após o teste de impacto.

Gráfico 2 – Análise quantitativa do teste de impacto.



Fonte: Autor (2023)

Como se percebe no Gráfico 1, a maior incidência de potenciais vazios percebidos se concentrou no processo 2, seguido do processo 1 e processo 3. Que apresentaram uma soma de 7, 2 e 1 possíveis vazios para cada teste desenvolvido, respectivamente.

No Gráfico 2, a maior ocorrência efetiva de bolhas foi identificada no processo 1, com 7 incidências. No processo 2, o teste de impacto evidenciou 6 defeitos, enquanto o processo 3 não apresentou nenhum defeito.

Portanto, a partir da comparação de ambos gráficos é possível concluir que o teste visual serve apenas como um primeiro indicativo, mas não é suficiente quando aplicado sozinho na determinação da existência de bolhas, a constatação de fato será feita através das percussões do teste de impacto.

Os pontos indicados na etapa visual que não foram evidenciados no teste de impacto, encontravam-se nas camadas mais internas do laminado e não entre as camadas do gelcoat e skin coat, por este motivo não foram expostos.

A respeito dos testes pode-se trazer considerações particulares sobre cada um deles. Visto que, cada um demonstrou características individuais.

O processo 1 revelou uma maior suscetibilidade à incidência de bolhas nos cantos, devido à dificuldade da camada de reforço do skin coat em assentar e acompanhar a geometria do molde. Isso resultou em defeitos nos três corpos de prova, que, em um cenário real, exigiria retrabalho e custos adicionais absorvidos pelo fabricante. Além disso, no processo 1, as falhas observadas se mostraram mais alongadas ao longo da aresta, não sendo apenas pontuais como nos corpos de prova do processo 2. Durante a desmoldagem, algumas partes da peça no processo 1 já apresentavam danos no gel, indicando que a aderência entre molde e peça desenvolvida na fabricação, culminou na evidência do defeito, avariando a peça.

Já para o processo 2, técnica que é utilizada nos estaleiros 1 e 2, com a aplicação da Massa A nos cantos, apresentou certa melhora quando comparada ao processo 1. Os defeitos se apresentaram de maneira mais pontual e com extensões menores.

O material utilizado no processo 2 tinha como objetivo o preenchimento de possíveis lacunas entre as camadas do gelcoat e skin coat. No entanto, essa Massa A apresentou dificuldades de aplicação devido à sua consistência pegajosa, adicionando complexidade ao processo não apenas pela etapa extra, mas também pelo manuseio da massa no momento da aplicação. Isso exigia prática e cuidado do operador, devido ao tempo limitado do processo de cura da massa afetando o processo de fabricação seguinte.

O processo 3, por sua vez, apresentou indícios significativos de melhores resultados. O objetivo dessa proposta foi aumentar a produtividade dada a facilidade de aplicação que garantiu certa resistência mecânica e a integridade estrutural nos cantos angulados. A Massa B apresentou maior facilidade de aplicação devido à sua textura, se mostrando um material de fácil manuseio e que, sobretudo, capaz de preencher espaços vazios entre gelcoat e skin com mais eficiência. Além disso, auxiliava na umectação da camada de reforços subsequente. O manuseio mais fácil permitiu que o procedimento de alocação nos cantos ocorresse de maneira mais rápida, economizando tempo para a etapa seguinte de laminação com a manta e a resina.

7. CONCLUSÃO

Diante do crescente potencial do mercado náutico, é importante reconhecer os desafios enfrentados pela indústria, especialmente no processo manual de laminação em PRFV.

O uso deste material apresenta vantagens notáveis, mas a execução manual em fases iniciais do processo ainda influencia a qualidade final do produto. A introdução de tecnologias avançadas e novos processos na fabricação é promissora, mas a habilidade do profissional laminador permanece determinante nas etapas iniciais da fabricação. Imperfeições resultantes do processo, como vazios em cantos, não apenas comprometem a qualidade da peça, mas também acarretam custos adicionais de retrabalho na forma de horas e materiais gastos, reduzindo a margem de lucro do fabricante.

Diante desse panorama, o presente estudo tratou de analisar o impacto do uso de massa na redução de vazios em cantos na laminação de PRFV. O objetivo foi comparar e analisar o método que apresentasse melhor resultado na redução da incidência de bolhas em cantos angulados. Ao abordar essas questões, esperou-se contribuir para o incremento na qualidade e durabilidade de embarcações.

A partir de uma revisão bibliográfica técnica acerca do tema, foi possível identificar a problemática, os materiais e os processos empregados na indústria de PRFV, particularmente no que diz respeito aos desafios enfrentados nas primeiras etapas do processo de laminação de barcos. Na sequência, foram levantados materiais e processos utilizados na laminação como forma alternativa de contornar o defeito de bolhas em cantos. Foi então, testado o emprego desses materiais através de um experimento comparativo para determinar o qual era melhor aplicável ao problema.

Para a pesquisa experimental, foram confeccionados nove corpos de prova referentes a três processos de laminação distintos, os quais foram submetidos a avaliação visual e avaliação destrutiva, a fim de avaliar e comparar qual apresentou melhor resultado na mitigação da ocorrência de vazios em cantos nos processos iniciais de laminação.

O processo 1, foi desenvolvido apenas com gelcoat, resina e manta de fibra de vidro. Apresentou como resultado a maior incidência de bolhas percebidas, confirmando a probabilidade de existência de vazios entre gelcoat e skin coat,

devido à ausência de material entre camadas. Percebeu-se arestas frágeis e que em um caso real, seriam obrigatoriamente sujeitas a retrabalho.

Já para o processo 2, foi elaborado para além da laminação com gelcoat, resina e manta de fibra de vidro, a adição da Massa A (da marca EGC Fiberglass) nos cantos entre as camadas de gelcoat e skin coat. O método evidenciou um resultado intermediário, reduzindo a presença de bolhas em relação ao processo 1, mas apresentando uma incidência maior de bolhas se comparado ao processo 3.

Por fim, para o processo 3, no processo de fabricação do laminado, similar aos testes anteriores, foi aplicada a Massa B nos cantos entre as camadas de gelcoat e skin coat. Esta proposta apresentou os melhores resultados, não sendo identificado a presença de vazios a partir das avaliações realizadas. Tal teste, feito com a Massa B, desenvolvida com resina, roving picado e Aerosil ®, se mostrou mais eficiente que as outras propostas testadas quanto ao aparecimento de vazios. De maneira geral, o material fabricado foi capaz de preencher lacunas entre o gelcoat e as camadas do skin coat e se mostrou adequado para o uso conferindo aos cantos robustez.

A partir dos resultados obtido nos testes realizados, foi possível identificar uma considerável redução na incidência de vazios em cantos dado a aplicação da Massa B se comparado aos dois outros materiais e processos testados. Essa alternativa mostrou-se mais eficiente pela trabalhabilidade que demonstrou, além dos resultados que evidenciou. Outro ponto positivo foi a trabalhabilidade da Massa B que demonstrou reduzir a dependência do operador, visto que sua aplicação ocorreu de maneira mais facilitada devido à sua viscosidade.

Em todos os três testes, foi percebido que não somente os materiais, os pré-cortes das mantas, as ferramentas empregadas, a geometria e o acesso ao molde tendem a influenciar nos resultados, mas também a prática e o capricho do profissional laminador. Reforçando assim, a necessidade de domínio da técnica aplicada e boas condições de trabalho.

Após a realização deste estudo são sugeridos os seguintes pontos para trabalhos futuros:

- Utilizar diferentes tipos de massa e diferentes tipos de roletes nos experimentos.
- Incorporar outros tipos de elementos de reforço / insumos à fabricação da massa utilizada em cantos e comparar resultados.

- Avaliar impacto nos custos de fabricação para adicionar a aplicação de massa na laminação manual.

REFERÊNCIAS

- ABMACO (Brasil). **Compósitos 2: Tecnologia e Processos**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2009. 355 p.
- ACOBAR - Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e Seus Implementos. Indústria náutica brasileira: fatos e números de 2012. Rio de Janeiro, 2012.
- ACOBAR - Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e Seus Implementos. Mercado náutico projeta alcançar a marca de 120 mil empregos. 2022. Disponível em: <http://www.acobar.org.br/mercado-nautico-projeta-alcançar-a-marca-de-120-mil-empregos/>. Acesso em: 10 de out. de 2023.
- ACOBAR - Associação Brasileira dos Construtores de Barcos e Seus Implementos. São Paulo Boat Show contribui para o desenvolvimento do setor náutico e impacta diretamente na economia. 2023. Disponível em: <http://www.acobar.org.br/sao-paulo-boat-show-contribui-para-o-desenvolvimento-do-setor-nautico-e-impacta-diretamente-na-economia/>. Acesso em: 10 de out. de 2023.
- CALLISTER JUNIOR, William.; RETHWISCH, David. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CHAWLA, Krishan Kumar. **Composite materials: science and engineering**. 4. ed. New York: Springer, 2019.
- DANIEL, Isaac M.; ISHAI, Ori. **Engineering Mechanics of Composite Materials**. 2. ed. Nova Iorque: Oxford University Press, 2006.
- DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- GREENE, Eric. **Marine composites**. 2 Ed. Eric Greene Associates, INC. Anapolis. 1999.
- LIKER, Jeffrey K.; MEIER, David. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- MAZUMDAR, Sanjay. **Composites Manufacturing: materials, product, and process engineering**. Boca Raton: Crc Press, 2002.
- MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. São Paulo: Artliber, 2011.
- MOREIRA, Waldomiro. Matriz polimérica. In: ABMACO (Brasil). **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 37- 88.
- NASSEH, Jorge. **Manual de construção de barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Edição do autor, 2011.

NASSEH, Jorge. **Técnica e prática de laminação e composites**. Rio de Janeiro: Edição do autor, 2008.

ORRO, Luiz. Reforços. In: ABMACO (Brasil). **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 89-108.

PETERHANS, H. **RTM: Resin Transfer Moulding**. 2 ed. Blumenau: Nova Letra, 2013.

PERCIL GLASS. Fibras de Vidro. 2019. Disponível em: <https://www.percilglass.com.br/copia-resinas-4/>. Acesso em: 18 de nov. de 2023.

PINTO, Ricardo A. Q. **Construção em PRFV: Recomendações Gerais**. 2022. CTJ – Universidade Federal de Santa Catarina. Não paginado. Notas de aula.

REDELEASE. Roving Fibra de Vidro Tex 2400 - 9.500 m ou 22 kg. Redelease. 2021. Disponível em: <https://www.redelease.com.br/roving-fibra-de-vidro-tex-2400-9-500-m-ou-22-kg.html/>. Acesso em: 8 de nov. de 2023.

ROSATO, Dominick. **An overview of composites**. In: LUBIN, George. **Handbook of composites**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1982. p. 1-14.

SANTOS, Fenelon C. Aditivos. In: ABMACO (Brasil). **Compósitos 1: Materiais, Processos, Aplicações, Desempenhos e Tendências**. São Paulo: Associação Brasileira de Materiais Compósitos - Abmaco, 2008. p. 201- 224.

Silaex. Poliéster. 2018. Disponível em: <http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm/>. Acesso em: 8 nov. 2023.

West System. Gelcoat Blisters: Diagnosis, Repair & Prevention. 9. ed. Publicado em 2007. Disponível em: <https://www.westsystem.com/app/uploads/2022/10/Gelcoat-Blisters-Diagnosis-Repair-and-Prevention.pdf/>.

ANEXO A – Cera Desmoldante



TR INDUSTRIES
 11022 Vulcan Street
 South Gate, CA 90280-0893
 Phone 562-923-0838 · Fax 562-861-3475
www.trmoldrelease.com · info@trmoldrelease.com

TR-102 REGULAR MOLD RELEASE

DESCRIPTION:

A high production paste wax mold release with excellent breakdown characteristics for fast, even coverage. A firm carnauba based mold release paste wax blended with other synthetic waxes for use in various thermo-set composite molding applications.

PRODUCT FEATURES:

- ★ High carnauba wax content polishes to high gloss without streaking
- ★ Good heat and chemical resistance properties
- ★ Easy application and wipe off characteristics
- ★ Reduced wax build up and styrene accumulation



PHYSICAL PROPERTIES:

Dry Time: 5-10 minutes @ 72°F. Varies depending on working temperature
 Specific Gravity: .80-.82 (approx. 6.75lbs./Gal)
 Wax Melting or Softening Point: 185 - 200°F (85 - 93°C)
 Color: Off-white

USES:

As a release agent for composite molding on all FRP tooling, metal and other hard surface molds.

- ★ Open mold hand or spray lay up
- ★ Resin Transfer/Injection (RTM) & (RIM)
- ★ Vacuum bag and compression molding
- ★ Polyester & epoxy resins

NOTE: Check suitability when heat curing or higher temperature molding above 200°F (93°C)

APPLICATION:

On new or reconditioned tooling, suggest use of our sealer glaze TR-301 or TR-910 semi-permanent sealer prior to waxing for added release, gloss and mold life. Apply wax with sponge applicator in thin even circular motion to the mold surface. Allow to haze dry (approx. 5-10 min) depending on ambient temperature and polish wipe to gloss finish with soft cloth (do not use microfiber cloth). For new or reconditioned molds, apply a minimum of 6 coats of paste wax, waiting approximately 30-60 minutes between applications for the wax to set & harden after the polish wipe. Best results are obtained, if after application, mold is allowed to stand overnight and a subsequent final coat of wax release applied the following day prior to gel coating. Follow with a coat of wax for the first 2-3 parts released. Then determine how many parts can be effectively produced before re-waxing is required. This will vary depending on molding condition, configuration, resin, mold cycles, effective cure of production gel coat and other factors.

STORAGE AND PRECAUTIONS:

Flammable solid, store in a cool dry place and keep in original unopened container. Keep away from spark, open flame or other sources of ignition.

PACKAGING:

Available in 14oz (397g) cans and packaged in case quantity of 12. Please contact your local TR distributor or call direct.

FOR INDUSTRIAL USE ONLY

The information contained herein is based on tests considered to be reliable and accurate. Because of the wide variance of associated materials and conditions, however no warranty is expressed or implied. Each user is encouraged to prepare a test part for their particular application.

RELEASES ★ COMPOUNDS ★ POLISHES ★ SEALERS

ANEXO B – Resina poliéster

ENYDYNE® H 775 TA

Aparência

Líquido de cor azulado.

Aplicações recomendadas

Processos de laminação Hand Lay up e Spray up.

Principais características

Resina poliéster insaturada:

- Pré-acelerada, tixotrópica,
- Com indicador de cura ;
- Alto teor de sólidos,
- Média viscosidade e baixa reatividade,
- Rápido ciclo de cura,
- Ótima molhabilidade,
- Baixo mapeamento da fibra,
- Contração linear menor que 1%,
- Cura uniforme em laminados finos.

Propriedades da resina líquida

Característica	Unidade	Especificação			
		H 775-10	H 775-15	H 775-20	H 775-30
Viscosidade Brookfield a 25°C	(cP)	270 - 330	270 - 330	270 - 300	290 - 330
Índice de Tixotropia	adm	1,90 - 2,70	1,90 - 2,70	1,90 - 2,50	1,90 - 2,50
Gel Time a 25°C*	Minutos	11:00 - 15:00	16:00 - 20:00	21:00 - 25:00	31:00 - 35:00
Intervalo Simples	Minutos	10:00 - 20:00	10:00 - 20:00	10:00 - 20:00	11:00 - 18:00
Pico Exotérmico	°C	140 - 170	140 - 170	140 - 170	145 - 155
Índice de Acidez	(mg KOH/g)	25,00 máximo	25,00 máximo	25,00 máximo	25,00 máximo
Teor de Sólidos	%	65,00 - 68,00	65,00 - 68,00	65,00 - 68,00	65,00 - 68,00
Dureza Barcol após 24 horas	-	40	40	40	40

Obs. 1 – Sistema catalítico: feito com 100g de resina com 1,5mL de MEK-P;

Obs. 2 – A viscosidade da resina e do composto não poderá ser reduzida com adição de monômeros ou aditivos, pois isso alterará as características físico-químicas do produto.

ANEXO C – Gelcoat

VENTAJAS

- Alto brillo
- Brillo resistente
- Alta viscosidad aparente
- Alto Índice tixotrópico
- Alto poder de cobertura
- Resistencia al blistering

BENEFICIOS

- ▶ Reducción del tiempo de pulido de las piezas fabricadas con BRITEC;
- ▶ Además de su brillo resistente, en piezas envejecidas, se puede recuperar el brillo original lijando fácilmente;
- ▶ Esta característica garantiza que no haya separación y que sea de fácil aplicación. Puede reducirse la viscosidad durante la aplicación, evitando así alta presión en la gelcotería;
- ▶ Garantiza que no habrá separación durante el almacenaje ni escurrimientos del producto luego de su aplicación en superficies verticales, garantiza uniformidad de coloración luego de la aplicación;
- ▶ Gracias a su alto contenido de sólidos y alta concentración de pigmentos, se puede obtener un excelente acabado de las piezas con un menor espesor del aplicación del producto;
- ▶ Avalado conforme a la norma ANSI Z

PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

	versión verano	versión invierno
Contenido de Sólidos, %	: 70 - 74	: 70 - 74
Monómero Estireno, %	: 26 - 30	: 26 - 30
Viscosidad Brookfield (#4/4 rpm) @ 25 °C , cps	: 17000 – 19000	: 14000 - 15000
Índice Tixotrópico (#4 / 2- 20 rpm) @ 25°C	: 6 - 8	: 6 - 8
Apariencia	: Viscoso / Blanco	: Viscoso / Blanco
Gel Time @ 25 °C, min	: 28 - 31	: 14 - 16
Pico Exotérmico, (°C)	: 160 - 170	: 160 - 170
Tiempo Total a Pico, min.	: 43 - 51	: 29 - 33
Intervalo Reacción, min	: 15 - 17	: 15 - 17
Tiempo formación película, min	: 40 - 60	: 40 - 60

ANEXO D – Massa A

Utilização: Uso geral em peças de fibra com elemento de colagem fibra/fibra, fibra/metal. É usada também como material de preenchimento de cantos na moldagem de peças, como painéis, capôs de motor, grades, pára-lamas, carrocerias, pára-choques, etc.

Características técnicas:

Característica	UNIDADE	ESPECIFICAÇÃO
Gel Time (25°C / 1% de MEK-P)	Min.	04' – 15'
Intervalo	Min.	10' – 30'
Pico Exotérmico	°C	100° - 155°
Aspecto	Visual	Pastoso
Densidade	g/cm ³	

ANEXO E – Aerosil

Characteristic physico-chemical data

Properties and test methods	Unit	Value
Specific surface area (BET)	m ² /g	175 - 225
pH value in 4% dispersion		3,7 - 4,5
Loss on drying* 2 hours at 105 °C	%	≤ 1.5
Tamped density*	g/l	approx. 50
SiO ₂ content based on ignited material	%	> 99,8

* ex plant
The data represents typical values (no product specification)

Registration (substance or components of substance)

AEROSIL[®] 200

CAS-No.	112 945-52-5 7631-86-9
REACH (Europe)	registered
TSCA (USA)	registered
DSL (Canada)	registered
AICS (Australia)	registered
ENCS (Japan)	registered
IECS (China)	registered
KECI (Korea)	registered

AEROSIL[®] 200 is a hydrophilic fumed silica with a specific surface area of 200 m²/g.

Applications and properties

Applications

- Paints and coatings
- Unsaturated polyester resins, laminating resins and gel coats
- HTV- and RTV-2K-silicone rubber
- Adhesives and sealants
- Printing inks
- Cable compounds and cable gels
- Plant protection

Properties

- Rheology and thixotropy control of liquid systems, binders, polymers, etc.
- Used as anti-settling, thickening and anti-sagging agent
- Reinforcement of HTV- and RTV-2K silicone rubber
- Improvement of free flow and anticaking characteristics of powders

Safety and handling

Information concerning the safety of this product is listed in the corresponding Safety Data Sheet, which will be sent with the first delivery or upon updating. Such information is also available from Evonik Industries AG, Product Safety Department, E-MAIL sds-im@evonik.com or can be downloaded from our homepage www.aerosil.com. We recommend to read carefully the safety data sheet prior to the use of our product.

Packaging and storage

AEROSIL[®] 200 is supplied in multiple layer 10 kg bags. We recommend to store the product in closed containers under dry conditions and to protect the material from volatile substances. AEROSIL[®] 200 should be used within 2 years after production.